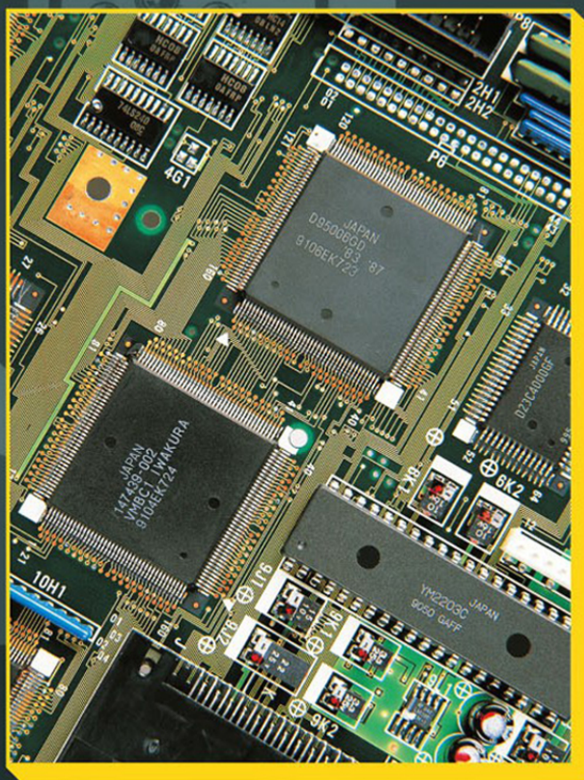
TURING 图灵电子与电气工程丛书

# 电路模块表面组装技术

吴兆华 周德俭 编著





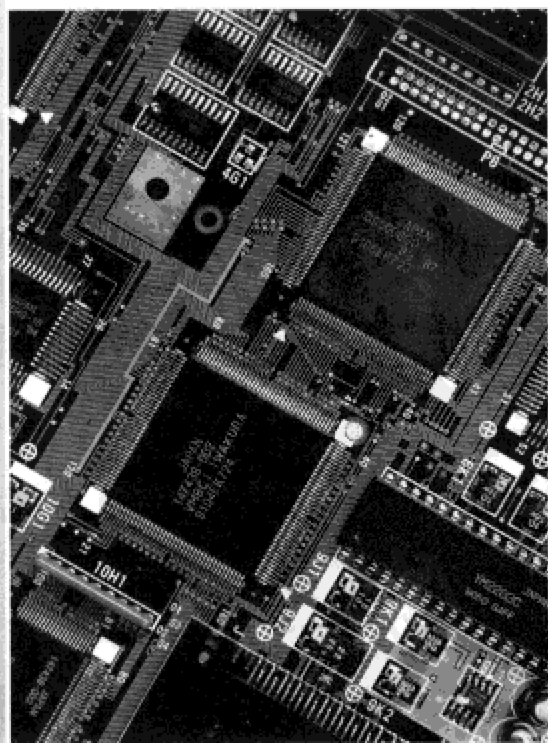
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING 图灵电子与电气工程丛书



# 电路模块表面组装技术

吴兆华　周德俭　编著



人 民 邮 电 出 版 社
北　京

**图书在版编目（CIP）数据**

电路模块表面组装技术/ 吴兆华，周德俭编著. —北京：人民邮电出版社，2008.7

（图灵电子与电气工程丛书）

ISBN 978-7-115-18127-5

I. 电… II. ①吴… ②周… III. 印刷电路－组装 IV. TN410.5

中国版本图书馆CIP数据核字（2008）第069518号

**内 容 提 要**

本书介绍电子电路表面组装技术（SMT）的基本知识，全书共9章，内容包括SMT的基本概念、SMT组装工艺技术及其发展、表面组装元器件、PCB材料与制造、表面组装材料、表面组装涂敷技术与设备、贴片工艺与设备、焊接工艺与设备、SMA清洗工艺技术、SMT检测与返修技术等。

本书内容全面、理论联系实际，可作为SMT的专业技术培训教材，也可供从事SMT的工程技术人员自学和参考。

图灵电子与电气工程丛书

**电路模块表面组装技术**

◆ 编著 吴兆华 周德俭
责任编辑 舒 立
◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 http://www.ptpress.com.cn
北京铭成印刷有限公司印刷
◆ 开本：700×1000 1/16
印张：14
字数：290千字 2008年7月第1版
印数：1-4 000册 2008年7月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-18127-5/TN

定价：39.00元

**读者服务热线：（010）88593802 印装质量热线：（010）67129223**
**反盗版热线：（010）67171154**

# 序

电子电路表面组装技术（SMT）在我国正处于高速发展和快速普及应用之中，相关专业技术人才的缺乏已对其发展产生了明显的制约作用。为加快人才培养步伐，满足SMT专业技术人才培养和相关知识普及的教学、培训和学习需求，我们编写了本书。

本书面向SMT相关理论与知识的初学者，内容参考和引用了周德俭和吴兆华主编的《表面组装技术基础》、《表面组装工艺技术》、《SMT组装系统》、《SMT组装质量检测与控制》等“SMT系列教材”和本书所列其他参考文献中的部分内容，同时也编入了近年发展的SMT相关知识和作者的部分研究成果。编写过程中还注意了其实用参考价值、适用面和知识的全面性等问题，在有限的篇幅中较系统地介绍了SMT的主要基础知识和技术，并具有理论联系实际、易于自学等特点。它可作为专业技术人员的SMT基础知识自学图书，也可作为相关专业本科教育和高等职业技术教育的SMT基础知识教学选修或辅助教材，或作为SMT专业技术基础知识培训教材。

本书分为9章，主要介绍SMT的元器件、基板、组装材料、组装工艺过程与设备、组装质量检测等SMT基本技术与基础知识。其中第1章~第4章和附录由桂林电子科技大学吴兆华教授编写，第5章~第9章由广西工学院周德俭教授编写，全书由中国电子科技集团第54研究所张为民研究员审阅。

由于SMT涉及知识面广，技术内容非常丰富，在本书中予以全面和深入的介绍是困难的。为此，对于希望更全面深入地了解SMT相关知识的人，应该在学习本书的基础上，进一步阅读上述“SMT系列教材”或其他同类书籍。

编者
2008.3

# 目 录

# 第1章 概 论

## 1.1 SMT的基本概念

### 1.1.1 SMT、SMA及其组装的概念

1. SMT

电子电路表面组装技术（SMT, Surface Mount Technology）亦称表面贴装或表面安装技术，是一种将无引脚或短引脚表面组装元器件（简称SMC/SMD，常称片状元器件）安放在印制电路板（PCB, Printed Circuit Board）的表面或其他基板的表面上，通过再流焊接（也称再流焊）或浸焊等方法加以焊接组装的电路装联技术。SMT由表面组装元器件、电路基板、组装设计、组装材料、组装工艺、组装设备、组装质量测试、组装系统控制与管理等技术组成，是一项涉及微电子、精密机械、自动控制、焊接、精细化工、材料和检测等多专业多学科的综合性工程科学技术。

SMT主要应用于PCB级电路模块和多芯片、微系统级电路组件的元器件表面组装，与传统的通孔插装技术（THT）不同，它的元器件贴装面和焊接表面在基板或PCB的同一面上，PCB无须钻插装孔。

2. SMA

采用SMT组装的PCB级电子电路产品（简称SMT产品）也称为表面组装组件（SMA, Surface Mount Assembly）或印制电路板组件（PCBA, Printed Circuit Board Assembly）。图1-1a所示为在PCB单面组装有SMC/SMD的SMA局部示意图，图1-1b所示为单面组装SMA实物。

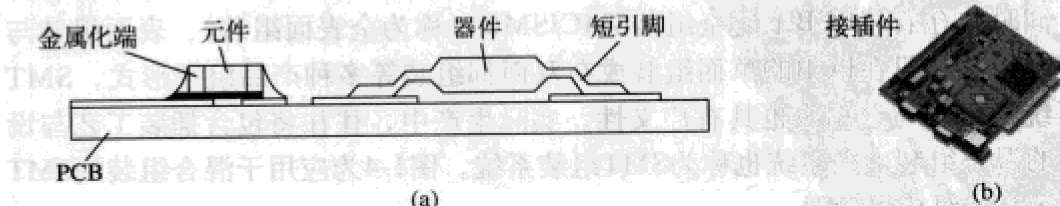



图1-1 单面组装SMC/SMD 的SMA 示意图

以前，表面组装元器件的品种规格尚不齐全，因此在表面组件中有时仍需要部分通孔插装元器件。所以，一般所说的表面组装组件中往往是插装件和贴装件兼有的，全部采用SMC/SMD的只是一小部分。插装件和贴装件兼有的组装称为混

合组装，全部采用SMC/SMD的组装称为全表面组装。

### 3. SMT组装工艺

SMT组装焊接一般采用浸焊或再流焊接。若采用浸焊，先在PCB上点涂或丝网印刷上环氧树脂粘合剂，将片状元器件定位黏结在上面，通过加热或紫外线照射固化，然后在焊料熔槽内浸焊。若采用再流焊接，则在PCB上点涂或丝网印刷上焊料膏，然后通过再流焊设备熔化焊料进行焊接。

SMT有单面组装和双面组装等表面组装方式，与之相应有不同的工艺流程。其主要工艺技术有焊膏涂敷（典型为印刷）、黏结剂涂敷（典型为点胶）、贴片（也称贴装）、焊接、清洗、测试和返修等，其主要组装设备有焊膏丝网印刷机、点胶机、贴片机、再流焊炉、波峰焊炉、清洗设备、测试设备以及返修设备等。

当被组装的SMC/SMD引线结构简单、同一PCB上SMC/SMD个数很少，或者仅对SMA上的个别SMC/SMD进行返修时，也可以采用借助焊接工具的手工方式和借助返修设备的半自动方式进行表面组装。

### 4. SMT组装系统

一般由丝网印刷机、贴片机和再流焊炉等主要设备组成SMT生产线（如图1-2所示），进而与其他辅助设备一起组成SMT产品（SMA）组装生产系统（如图1-3所示）。

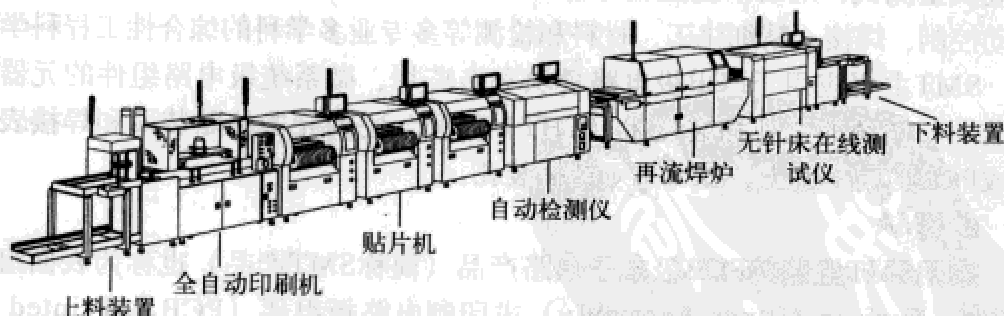



图1-2 SMT 生产线基本组成

SMT产品组装生产系统简称为SMT组装系统。由于在SMT及其产品的发展历程中，同时并存着在PCB上完全组装SMC/SMD（称为全表面组装）、表面组装与插装混合组装、只在PCB的单面组装或在双面都组装等多种产品组装形式，SMT组装系统的概念与之相应也具有广义性。实际生产中，往往将包含插装工艺与设备在内的混合组装生产系统也称为SMT组装系统。图1-4为应用于混合组装的SMT组装系统基本组成示意图。

## 1.1.2 SMT的技术组成与主要内容

### 1. SMT的技术组成

SMT是一项复杂的系统工程，如图1-5所示，它主要包含表面组装元器件、电

路基板、材料、工艺技术、组装设计、检测技术、组装和检测设备、控制和管理等技术。其技术范畴涉及诸多学科。

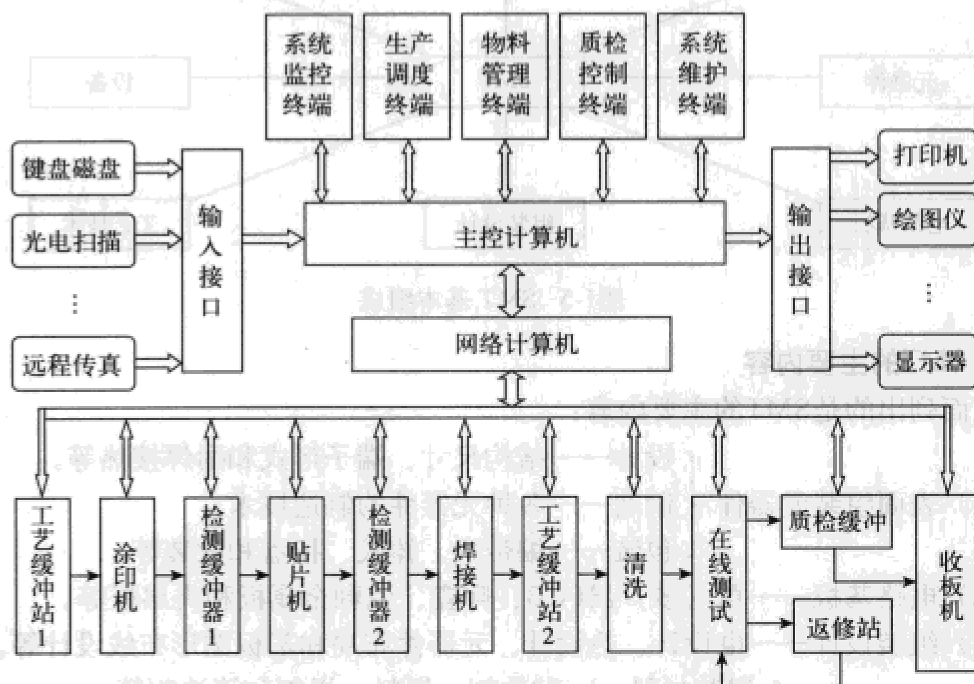



图1-3 SMT 组装系统控制信息流向图




图1-4 SMT 组装系统基本组成

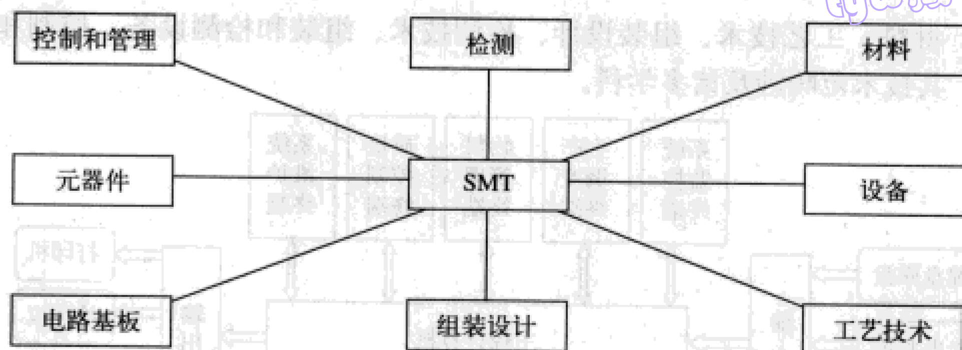



图1-5 SMT 基本组成

**2. SMT的主要内容**

下面列出的是SMT的主要内容：

(1) 表面组装元器件
- 设计——结构尺寸、端子形式和耐焊接热等。
- 制造——各种元器件的制造技术。
- 包装——编带式、棒式、托盘和散装等。

(2) 电路基板——单（多）层PCB、陶瓷、瓷釉金属板和夹层板等。

(3) 组装设计——电设计、热设计、元器件布局和基板图形布线设计等。

(4) 工艺技术
- 组装材料——黏结剂、焊料、焊剂和清洗剂等。
- 组装工艺设计——组装方式、组装工艺流程和工艺优化设计等。
- 组装技术——涂敷技术、贴装技术、焊接技术、清洗技术和检测技术等。
- 组装设备——涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机和测试设备等。

(5) 组装系统控制与管理——组装生产线或系统组成、控制与管理等。

**3. SMT工艺技术的主要内容**

SMT工艺技术的主要内容可分为组装材料、组装工艺设计、组装技术和组装设备应用四大部分（如图1-6所示）。

SMT工艺技术涉及化工与材料技术（如各种焊膏、焊剂、清洗剂）、涂敷技术（如焊膏印刷）、精密机械加工技术（如丝网制作）、自动控制技术（如设备与生产线控制）、焊接技术和测试、检验技术、组装设备原理与应用技术等诸多技术。它具有SMT的综合性工程技术特征，是SMT的核心技术。

## 1.2 SMA组装方式与组装工艺流程

### 1.2.1 SMA组装方式

SMA的组装方式及其工艺流程主要取决于表面组装组件（SMA）的类型、使用的

元器件种类和组装设备条件。大体上可将SMA的组装方式分成单面混合组装、双面混合组装和全表面组装三种类型共六种组装方式，如表1-1所列。对于不同类型的SMA，其组装方式有所不同，而对于同一种类型的SMA，其组装方式也可以有所不同。




图1-6 SMT 工艺技术主要内容

**表1-1 SMA的组装方式**

| 序号 | 组装方式 | | 组件结构 | 电路基板 | 元 器 件 | 特 征 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 单面混合组装 | 先贴法 | A B | 单面PCB | 表面组装元器件及通孔插装元器件 | 先贴后插，工艺简单，组装密度低 |
| 2 | | 后贴法 | | 单面PCB | 同上 | 先插后贴，工艺较复杂，组装密度高 |
| 3 | 双面混合组装 | SMD和THC都在A面 | A B | 双面PCB | 同上 | 先贴后插，工艺较复杂，组装密度高 |
| 4 | | THC在A面，A、B两面都有SMD | A B | 双面PCB | 同上 | THC和SMC/SMD组装在PCB的同一面 |
| 5 | 全表面组装 | 单面全表面组装 | A B | PCB单面陶瓷基板 | 表面组装元器件 | 工艺简单，适用于小型、薄型化的电路组装 |
| 6 | | 双面全表面组装 | A B | PCB双面陶瓷基板 | 同上 | 高密度组装，薄型化 |

根据组装产品的具体要求和组装设备的条件选择合适的组装方式，是高效和低成本组装生产的基础，也是SMT工艺设计的主要内容。

**1. 单面混合组装**

第一类是单面混合组装，即SMC/SMD与通孔插装元件（THC）分布在PCB不同的一面上混装，但其焊接面仅为单面。这一类组装方式均采用单面PCB和波峰焊接（现在一般采用双波峰焊接）工艺，具体有两种组装方式。

（1）先贴法，即在PCB的B面（焊接面）先贴装SMC/SMD，而后在A面插装THC。

（2）后贴法，即先在PCB的A面插装THC，后在B面贴装SMC/SMD。

**2. 双面混合组装**

第二类是双面混合组装，SMC/SMD和THC可混合分布在PCB的同一面，同时，SMC/SMD也可分布在PCB的双面。双面混合组装采用双面PCB、双波峰焊接或再流焊接。在这一类组装方式中也有先贴和后贴SMC/SMD的区别，一般根据SMC/SMD的类型和PCB的大小合理选择，通常采用先贴法较多。该类组装常用两种组装方式。

（1）SMC/SMD和THC同面方式。表1-1中的第3种，SMC/SMD和THC在PCB的同一面。

（2）SMC/SMD和THC不同面方式。表1-1中第4种，把表面组装集成芯片（SMIC）和THC放在PCB的A面，而把SMC和小外形晶体管（SOT）放在B面。

这类组装方式由于在PCB的单面或双面贴装SMC/SMD，而且把难以表面组装化的有引线元件插入组装，因此组装密度相当高。

**3. 全表面组装**

第三类是全表面组装，在PCB上只有SMC/SMD而无THC。由于目前元器件还未完全实现全表面组装化，实际应用中这种组装形式不多。这一类组装方式一般是在细线图形的PCB或陶瓷基板上，采用细间距器件和再流焊接工艺进行组装。它也有两种组装方式。

（1）单面全表面组装方式。表1-1中的第5种，采用单面PCB在单面组装SMC/SMD。

（2）双面全表面组装方式。表1-1中的第6种，采用双面PCB在两面组装SMC/SMD，组装密度更高。

### 1.2.2 SMT组装工艺流程

合理的工艺流程是组装质量和效率的保障，组装方式确定之后，就可以根据需要和具体设备条件确定工艺流程。不同的组装方式有不同的工艺流程，同一组装方式也可以有不同的工艺流程，这主要取决于所用元器件的类型、SMA的组装

质量要求、组装设备和组装生产线的条件，以及组装生产的实际条件等。

### 1. 单面混合组装工艺流程

单面混合组装方式有两种类型的工艺流程，一种采用SMC/SMD先贴法（如图1-7a所示），另一种采用SMC/SMD后贴法（如图1-7b所示）。这两种工艺流程中都采用了波峰焊接工艺。




图1-7 单面混合组装工艺流程

SMC/SMD先贴法是指在插装THC前先贴装SMC/SMD，并利用黏结剂将SMC/SMD暂时固定在PCB的贴装面上，待插装THC后，采用波峰焊进行焊接。而SMC/SMD后贴法则是先插装THC，再贴装SMC/SMD。

SMC/SMD先贴法的工艺持点是容易涂敷黏结剂、操作简单，但需留下插装THC时弯曲引线的操作空间，因此组装密度较低。而且插装THC时容易碰到已贴装好的SMD，而引起SMD损坏或受机械振动脱落。为了避免这种现象，黏结剂应具有较高的黏结强度，以耐机械冲击。

SMC/SMD后贴法克服了SMC/SMD先贴法方式的缺点，提高了组装密度，但涂敷黏结剂较困难。这种组装方式广泛用于TV和VTR等PCB组件的组装中。

### 2. 双面混合组装工艺流程

双面PCB混合组装有两种组装方式：一种是SMC/SMD和THC同在电路板的A面（表1-1中的第3种方式）；另一种是PCB的A面和B面都有SMC/SMD，而THC只在A面（表1-1中的第4种方式）。双面PCB混合组装一般都采用SMC/SMD先贴法。

第3种组装方式有两种典型工艺流程，图1-8表示出其中一种典型工艺流程。这种工艺流程在再流焊接SMC/SMD之后、插装THC之前可分成两种流程。当再流焊接之后需要较长时间放置或完成插装THC时采用流程A。因为在再流焊接期间留在组件上的焊剂剩余物，如果停置时间较长，在最后清洗时很难有效地清除，因此，流程A比流程B增加了一项溶剂清洗工序。另外，有些THC对溶剂敏感，所以

再流焊接后需要马上进行清洗。流程B是这两种工艺流程中路线短、费用少的一种，广泛用于高度自动化的表面组装工艺中。一般在清洗后还应进行洗净度检测，以确保电路组件能达到可接受的洗净度等级。

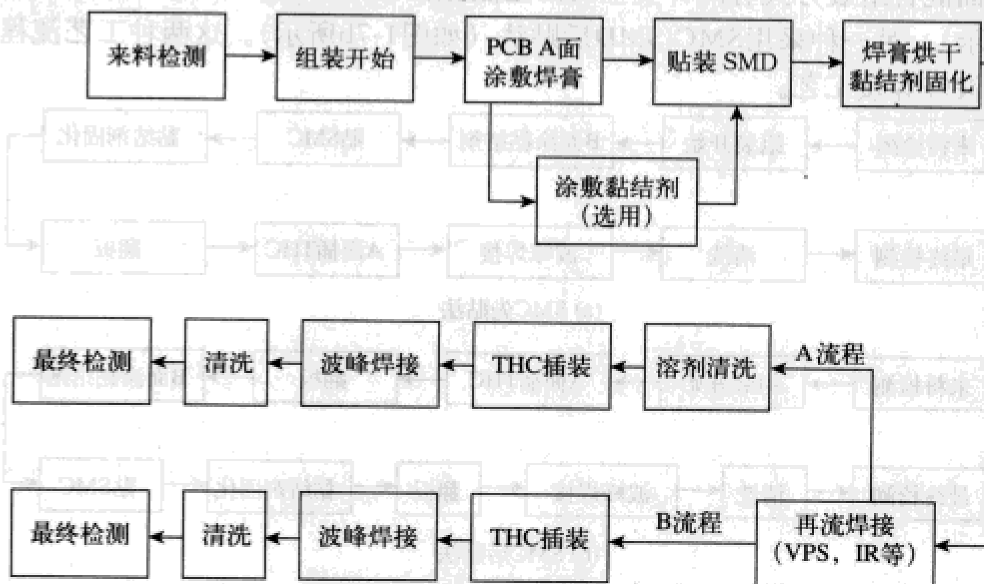



图1-8 双面混合组装工艺流程（SMD和THC在同一面）

第3种组装方式的另一种工艺流程如图1-9所示。这种组装工艺流程用来把鸥翼形引线的SMD和THC混合组装在同一块电路板上。它可以不采用焊膏，而是在电路板上电镀焊料，用热棒或激光再流焊接工艺焊接SMD。在这种工艺中，常采用既能贴装SMD又能进行焊接的装焊一体化设备进行组装。

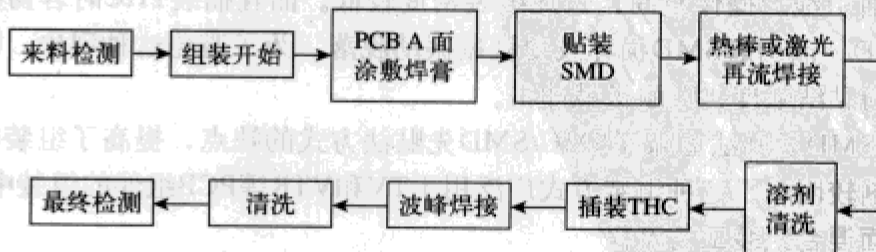



图1-9 采用热棒或激光再流焊接的双面混合组装工艺流程

第4种组装方式的典型工艺流程如图1-10所示，SMIC和THC组装在A面，SMC/SMD组装在B面。在A面SMIC再流焊接之后，紧接着在A面插装THC，再在B面涂敷黏结剂和贴装SMC/SMD。这就防止了由于THC引线打弯而损坏B面的SMC/SMD，和插装THC时的机械冲击引起B面黏结的SMC/SMD脱落。如果需要先在B面贴装SMC/SMD后在A面插装THC，在引线打弯时应特别小心。而且贴装SMC/SMD的黏结剂应具有较高的黏结强度，以便能够承受插装THC时的机械冲击。

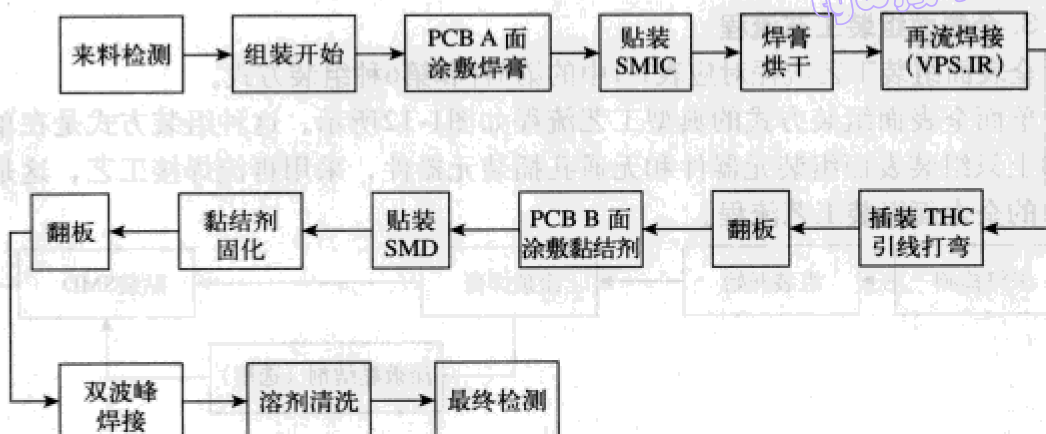



图1-10 双面混合组装工艺流程（SMIC和SMD分别在A面与B面）

图1-11表示出第4种组装方式的又一种典型工艺流程。该流程的特点是先贴装SMIC和SMC，再插装THC。流程A是在B面贴装SMC/SMD和在A面贴装SMIC后，A面再流焊接，然后才在B面插装THC，并进行波峰焊接的工艺流程。流程B是B面的SMC/SMD和A面的SMIC依次分别进行再流焊接后，再插装THC并进行波峰焊接的工艺流程。该工艺流程也可用手工焊接THC。另外，对热敏感的SMIC（如QFP等），也可采用激光等局部加热法进行焊接。

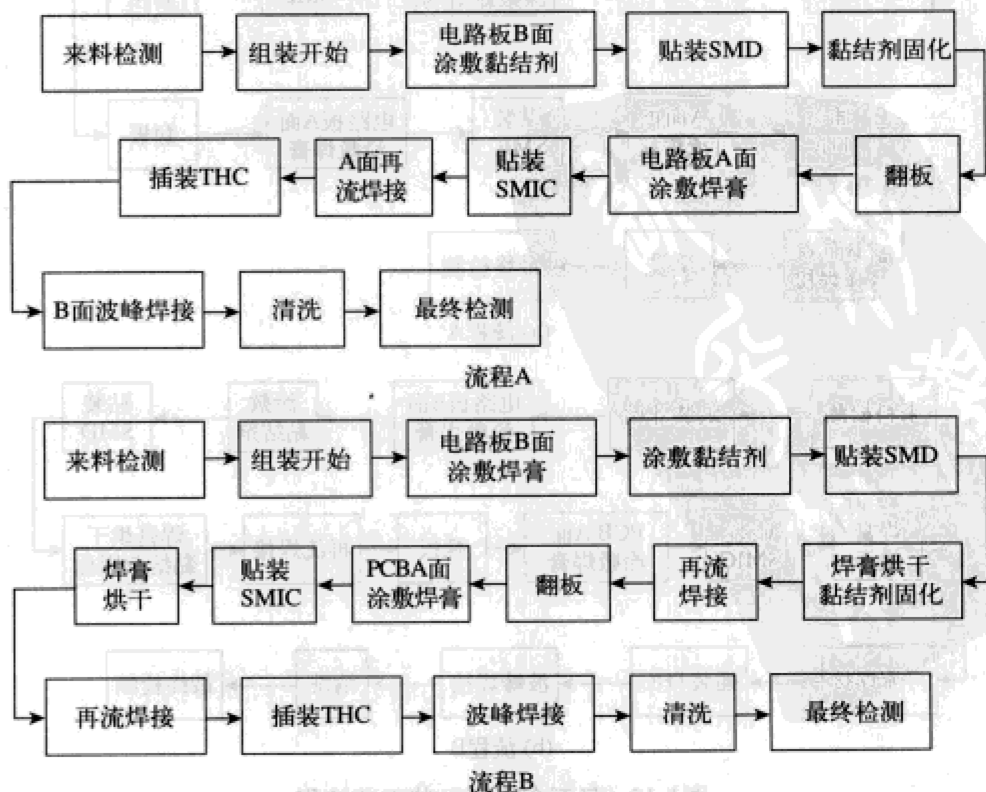



图1-11 双面板混合组装工艺流程

### 3. 全表面组装工艺流程

全表面组装工艺流程对应表1-1中的第5种和第6种组装方式。

单面全表面组装方式的典型工艺流程如图1-12所示。这种组装方式是在单面PCB上只组装表面组装元器件和无通孔插装元器件，采用再流焊接工艺，这是最简单的全表面组装工艺流程。

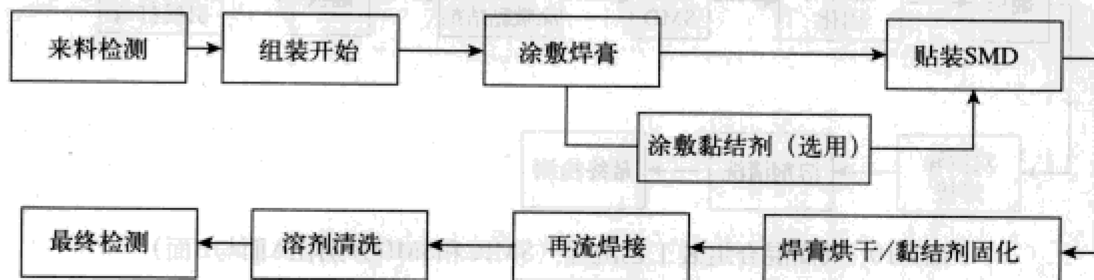



图1-12　单面组装工艺流程

双面全表面组装的典型工艺流程如图1-13所示。在电路板两面组装塑封有引线芯片载体（PLCC）时，采用流程A。由于J型引线和鸥翼形引线的SMIC采用双波峰焊接容易出现桥接，所以组件两面都采用再流焊接工艺。但A面组装的SMIC

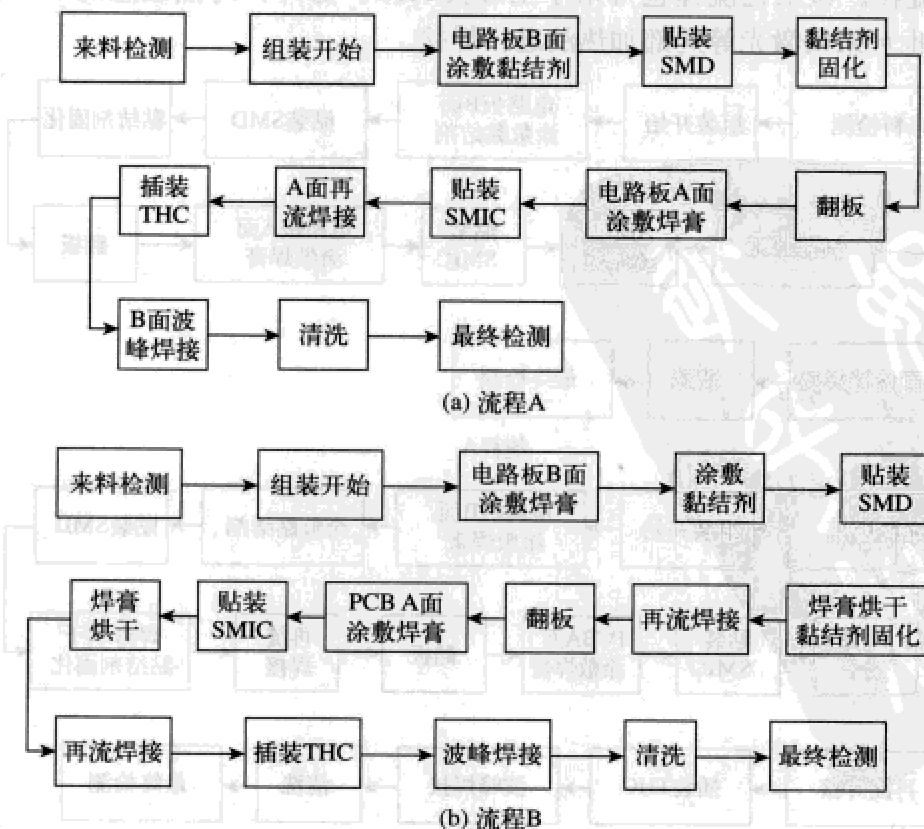



图1-13　双面全表面组装工艺流程

要经过两次再流焊接周期，当在B面组装时，A面向下，已经装焊在A面上的SMIC在B面再流焊接周期，其焊料会再熔融，且这些较大的SMIC在传送带轻微振动时容易发生移位，甚至脱落。所以，涂敷焊膏后还需要采用黏结剂固定，防止形成混乱的焊接连接和SMIC脱落。当在电路板B面组装的元器件只是小外形晶体管（SOT）或小外形集成电路（SOIC）时，可以采用流程B。

以上介绍了几种典型的SMT组装工艺流程。在实际组装中必须根据SMA的设计，以及电子装备对SMA的要求和实际条件，综合多种因素确定合适的工艺流程，以获得低成本和高效益的组装生产效果，并得到高可靠性的SMA。

## 1.3 SMT及其组装系统的发展

### 1.3.1 SMT的发展

SMT是20世纪60年代中期开发、70年代获得实际应用的一种新型电子装联技术，它彻底改变了传统的通孔插装技术，使电子产品的微型化和轻量化成为可能，被誉为电子组装技术的一次革命，是继手工装联、半自动插装和自动插装后的第四代电子装联技术。

SMT以缩小产品体积和重量、提高产品可靠性及电气性能、降低生产成本为目的，自20世纪80年代以来得到了飞速发展。当前，SMT已在计算机、通信、军事、工业自动化、消费类电子等领域的新一代电子产品中广泛应用，成为电子工业的支柱技术。

SMT发展至今，已经历了几个阶段。第一阶段（1970~1975年）的主要目标是小型化，此时的表面组装元器件主要用于混合集成电路，如石英表和计算器等。第二阶段（1976~1980年）的主要目标是减小电子产品的单位体积、提高电路功能，产品主要用于摄像机、录像机、电子照相机等。在这段时期，对SMT进行了大量的研制工作，元器件和组装工艺以及支撑材料日臻成熟，为SMT的大发展奠定了基础。第三阶段（1980~1995年）的主要目标是降低成本，大力发展组装设备，表面组装元器件进一步微型化，提高电子产品的性能/价格比。当前，SMT已进入微组装、高密度组装和立体组装技术的新阶段，以及MCM（多芯片组件）、BGA（球型栅格阵列）、CSP（芯片尺寸封装）等新型组装元器件的快速发展和大量应用阶段。

SMT的重要基础之一是表面组装元器件，其发展需求和发展程度也主要受SMC/SMD发展水平的制约。为此，SMT的发展史与SMC/SMD的发展史基本是同步的。

20世纪60年代，欧洲飞利浦公司研制出可表面组装的钮扣状微型器件供手表

工业使用，这种器件已发展成现在表面组装用的小外形集成电路（SOIC）。它的引脚分布在器件两侧，呈鸥翼形，引脚的中心距为1.27mm (50mil)，引脚数多可达28针以上。

20世纪70年代初期，日本开始使用方形扁平封装的集成电路（QFP）来制造计算器。QFP的引脚分布在器件的四边，呈鸥翼形，引脚的中心距仅为1mm (40mil)、0.8mm (33mil)、0.56mm (25mil)或更小，而引脚数可达几百针。

美国所研制的塑封有引脚芯片载体（PLCC）器件，引脚分布在器件的四边，引脚中心距一般为1.27mm (50mil)，引脚呈"J"形。PLCC占用组装面积小，引脚不易变形。

对SOIC、QFP和PLCC来说，它们都是塑料外壳，不是全密封器件。显然，在很多场合它们满足不了使用要求。于是，为了满足军事要求，美国于20世纪70年代研制出无引脚陶瓷芯片载体（LCCC）全密封器件。它以分布在器件四边的金属化焊盘代替引线。由于LCCC无引脚地组装在电路中，引进的寄生参数小，噪声和延时效应得到明显改善。但是，因为直接组装在基板表面，没有引脚来帮助吸收应力，所以在使用过程中易造成焊点开裂。而且由于使用陶瓷金属化封装，所以LCCC的价格要比其他类型的器件价格高，这样使它的应用受到一定的限制。

该阶段初期SMT的水平以组装引脚中心距为1.27mm的SMC/SMD为标志，20世纪80年代逐渐进步为可组装0.65mm和0.3mm细引脚间距SMC/SMD。进入90年代后，0.3mm细引脚间距SMC/SMD的组装技术和组装设备趋向成熟。

SMT的迅速发展，给集成电路器件的进一步微型化、高密度化开辟了应用新天地。20世纪90年代，IC发展到了将一个系统做在一个芯片上的新阶段，与之相应的高密度封装的任务就是要将CPU（微处理器）、摄录一体机之类的许多小系统在尽可能小的体积内组装成一个大系统。而要实现更高密度的封装，几十年来主宰和制约电子组装技术发展的芯片小、封装大这一矛盾就显得尤为突出。20世纪70年代流行的双列直接式封装（DIP），芯片面积/封装面积约为1：80；20世纪80年代出现的芯片载体封装尺寸大幅度减小，以208 I/O四面引脚扁平封装（QFP）为例，其芯片面积/封装面积约为1：7.8，仍然有七八倍之差。

20世纪80年代后期开发的多芯片组件（MCM）技术，将多个裸芯片不加封装，直接装于同一基板并封装于同一壳体内，它与一般SMT相比，面积减小了3~6倍，重量减轻了3倍以上。特别是从电气性能方面考虑，芯片经封装必然伴随配线和电气连接的延伸。为此，MCM裸芯片封装还有信号延误改善、结温下降、可靠性增强等一系列优点，是实现高密度、微型化较理想的组装技术。但是，MCM要求质量确实可靠的裸芯片（KGD, Known Good Die），而要对各种形状、大小、引脚数和功能的裸芯片进行试验及老化筛选是极困难的，这样会由于难以保障KGD而导致MCM成品率低和成本高。

为此，CSP以其芯片面积与封装面积接近相等、可进行与常规封装IC相同的处理和试验、可进行老化筛选、制造成本低等特点，从20世纪90年代初期脱颖而出。1994年，日本各制造公司已有各种各样的CSP方案提出，1996年开始，已有小批量产品出现。

另一方面，IC集成度的增大使得同一SMD的输入/输出数（也即引脚数）大增，为适应这种需求，将引脚有规则地分布在SMD整个贴装表面而成栅格阵列型的SMD也从20世纪90年代开始发展并很快地普及应用，其典型产品为球形栅格阵列（BGA）器件。

图1-14所示为元器件的发展趋势，目前的代表产品是0201之类的微小型组件、引脚间距为0.3mm~0.5mm的细间距QFP、在元器件底部设计球型栅格阵列的大型BGA和CSP类器件等。

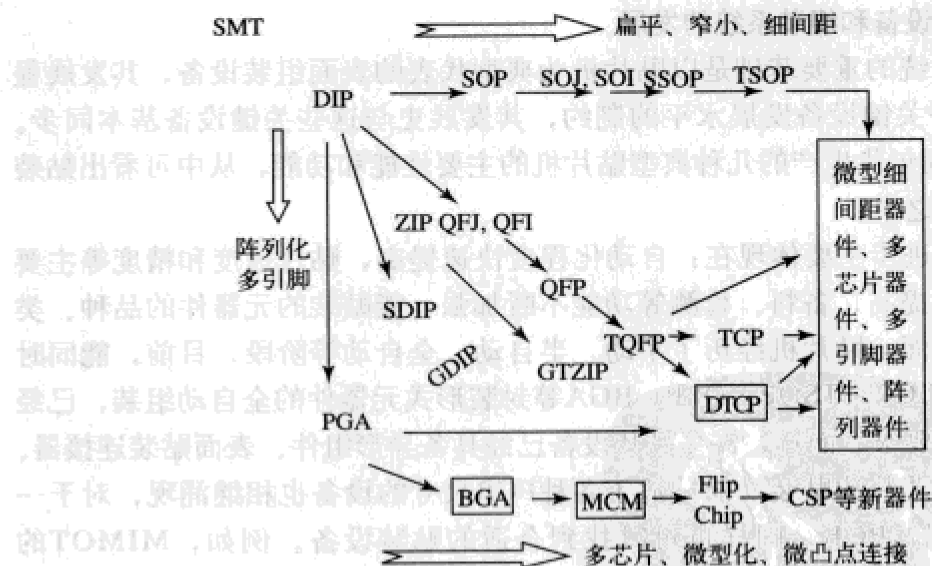


图1-14 元器件的发展历程

现阶段SMT与SMC/SMD的发展相适应，在发展和完善引脚间距0.3mm及以下的超细间距组装技术的同时，正在发展和完善BGA、CSP等新型器件的组装技术。

由此可见，表面贴装元器件的不断缩小和变化，促进了组装技术的不断发展，而组装技术在提高组装密度的同时又向元器件提出了新的技术要求和齐套性要求。可以说二者是相互依存和相互促进而发展的。

作为第四代电子装联技术的SMT，已经在现代电子产品，特别是在尖端科技电子设备、军用电子设备的微小型化、轻量化、高性能、高可靠性发展中发挥了极其重要的作用。为了适用更高密度、多层互连和立体组装的要求，目前SMT已处于微组装技术（MPT）新阶段。

MPT是在高密度、多层互连的PCB上，用微型焊接和封闭工艺将微型元器件

（主要是高集成度IC）通过高密度组装和立体组装等组装方法进行组装，形成高密度、高速度和高可靠性的主体结构微电子产品（组件、部件、子系统或系统）。这种技术是当今微电子技术的重要组成部分，特别是在尖端高科技领域中具有十分重要的意义。在航天、航空、雷达、导航、电子干扰系统、抗干扰系统、通信、巨型计算机、敌我识别电子装备等方面都具有非常重要的应用前景。

## 1.3.2 SMT组装系统的发展

SMT组装系统及其相关技术与SMT的发展和进步同步，并不断吸取生产系统与制造系统中已经应用的各项先进技术。其发展趋势主要体现在其组成设备和系统的性能不断提高，适应各类新型元器件组装的能力和适应无铅焊接等新组装工艺的能力不断提高，以及系统集成形式多样化和集成度不断提高等方面。

### 1. 表面组装设备和组装系统的发展

SMT组装系统的重要基础是以贴片机为典型代表的表面组装设备，其发展程度也主要受这些关键设备发展水平的制约，其发展史与这些关键设备基本同步。表1-2列出了不同年代生产的几种典型贴片机的主要性能和功能，从中可看出贴装设备在不断进步之中。

贴装设备的进步主要体现在：自动化程度快速提高，贴片速度和精度等主要性能指标在不断提高，备料、检测等功能不断加强，能贴装的元器件的品种、类型不断增加等方面。贴片机经历了手动、半自动、全自动等阶段，目前，能同时适用于SOIC、PLCC、TSOP、QFP、BGA等封装形式元器件的全自动组装，已经成为其基本性能要求。而且，许多贴片设备已经具备异形组件、表面贴装连接器、倒装芯片和直接芯片的贴装功能。适于各种PCB尺寸的设备也相继涌现，对于一些尺寸比较特别的PCB，同样也可以找到合适的贴装设备。例如，MIMOT的Advantage III贴片机最大可以应用于1200mm × 800mm的PCB，而Multitroniks的Flexplacer16型贴片机最小可以用于19mm × 19mm的超小尺寸PCB。

表1-2 贴片机的主要性能发展状况表

| 项目 \ 型号 | CSM84V | FCM型 | SIPLACE HS-50 |
|---|---|---|---|
| 上市年份 | 约1990年 | 约1995年 | 约2000年 |
| 速度（片/h） | 650 | 1200 | 5000 |
| 精度 | ±0.15mm | ±0.1mm | ±90μm, 4σ |
| 贴片头个数 | 3 | 3 | 4个旋转头 |
| 备料架个数 | 84个8mm料带（前后各42个） | 90个 | 96个8mm料带 |
| 检测功能 | 组件真空检测和厚度检测 | 光学定位 | 有元器件、PCB视觉系统 |
| 可贴SMC/SMD种类 | SOP、PLCC、QFP等 | SOP、PLCC、QFP等约80种型号规格 | 0402、PLCC、QFP、DRAM、BGA、CSP |
| 备注 | | | 可用散装送料器 |

目前使用的表面组装设备基本都是光机电一体化的典型高科技产品。例如，全自动贴片机由交流、直流或直线电机、滚动丝杠与直线滚动导轨组成多轴驱动系统，驱动电路板和贴片头的高速运动；由气、液控制系统驱动和控制贴片头的拾、放等动作；由光学自动检测系统对元器件进行自动检测和剔除工作；由计算机控制系统进行全自动过程控制并实现人机界面交互。图1-15所示的全自动贴片机具有自动定位、自动检测和贴装顺序自动控制等多项自动功能。

图1-15 具有4组转盘贴片头的全自动贴片机

表面组装设备的发展还体现在设备的模块化和智能化上。例如，智能化解决了贴片过程中相互制约的几个因素，诸如贴片的速度、精度和灵活性等，并使贴片机成为可以满足所有组装工艺需求的生产设备：既高速高产，又灵活精确，还不会占用很多空间。智能化所涉及的技术范围甚至包括贴片机的带CPU供料器。而模块化则可使贴片头等部分能够自由拆卸与组合，以适应不同的贴片环境和贴片要求等。

焊膏自动印刷机、再流焊炉等其他表面组装设备的发展状况也基本与贴片机的发展情况类似，由它们组成的SMT组装系统目前也仍然在不断进步之中。

目前的SMT组装系统，其可组装的元器件引脚间距已普遍可达0.5mm以下，组装焊点缺陷率已可在$2\times10^{-5}$以内，并已发展到0.3mm引脚间距和0.2mm组件间距的微细间距组装、组装焊点密度大于60点/cm$^2$的高密度组装、BGA类器件的凸点阵列组装，以及三维立体组装等先进组装新阶段。

**2. 组装系统集成技术的发展**

与一般计算机集成制造系统（CIMS）的研究和发展相同，SMT组装系统集成技术的发展也向着集成形式的多样化、实用化，PDM、MRPII、ERP等技术与方

法应用于SMT计算机集成组装系统中，以及设计制造一体化、网络化制造等方向发展。

(1) 柔性组线技术

图1-16所示为一个可顺应组装产品和组装工艺变化需求的可柔性组合的SMT组装系统示意图。它能适应双面混合组装要求和单、双面表面组装要求，它由A、B、C、D、E五部分组成。

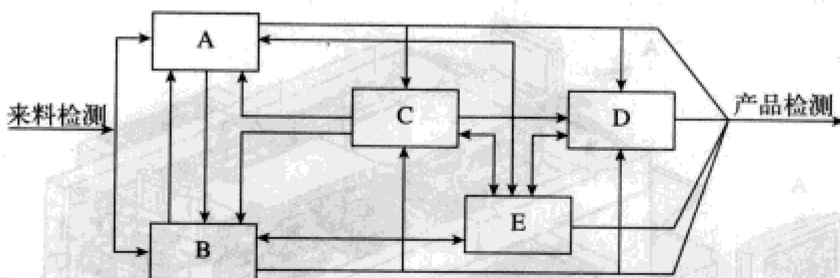



图1-16　组合式SMT组装系统示意图

其中A和B均为单面SMT生产线，二者串接可形成双面SMT生产线，C为插装元器件成型机和插装机（也可用人工插装流水线代替），D为波峰焊机及清洗机，E由返修站、返修工具、半自动贴装机等设备组成。各部分的不同组合，可以形成五种不同的工艺流程以适应不同的组装要求。

这五种不同的工艺流程分别为：A、B独立成线的单面SMT生产，C独立完成插装生产，A、B组合的双面SMT生产，A（或B）与C组合的单面混装SMT生产，A、B、C组合的双面混装机SMT生产。另外，A和B的组成设备可以有所不同，据此可形成适应批量要求的、精度要求有所不同的单面SMT生产的不同流程。

(2) 设计制造一体化技术

包含基板制造、芯片组装的内在SMA设计制造一体化系统采用了面向制造、测试和可靠性的设计技术以及并行设计的思想，将与SMA组装质量相关的设计、制造、测试、质量测控等环节集成于一体，是更有意义的SMT产品集成制造系统。

(3) 网络化制造技术

网络化制造技术以系统思想为基础，再利用网络技术沟通异地信息，实现异地设计、集中制造的网络化SMT产品制造系统或体系的建立（如图1-17所示）。该类系统和体系的建立，对SMT和SMT生产系统资源的充分利用，对SMT在多品种小批量电子产品中的应用和低成本制造，具有较大的现实意义和技术、经济价值。

(4) 应用PDM、MRP、ERP的集成技术

SMT组装系统的集成形式除上述两种外，应用PDM、MRP、ERP的集成技术也在发展之中。目前，国内已经有基于PDM的系统集成、使用ERP的系统集成等技术在SMT生产系统中具体体现。

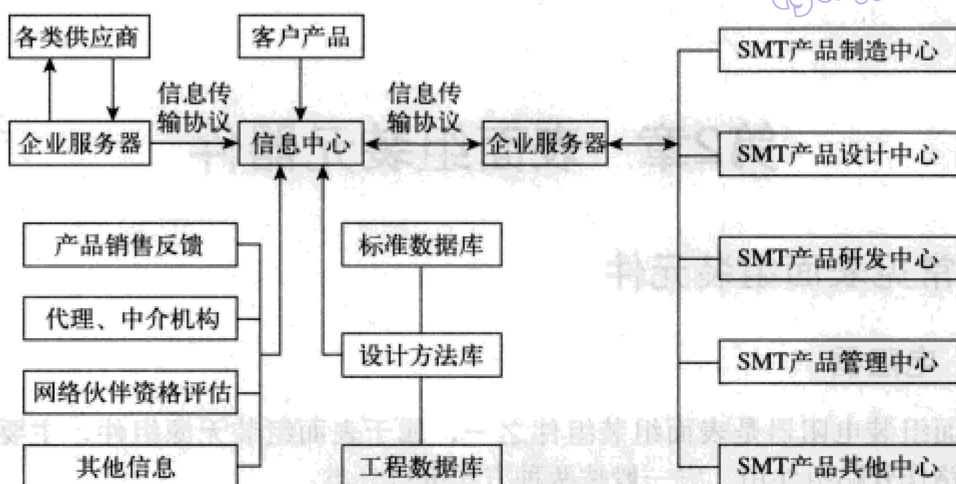



图1-17 SMT网络化制造信息系统框架

这些研究和发展是SMT生产系统控制技术与集成技术向高层次发展的一个标志，它将与动态制造联盟、网络化制造、全球制造等先进制造技术理念相融，在SMT生产系统控制和集成技术的发展和进步中起到主导作用。

### 1.3.3 其他相关技术的发展

随着环保意识的增强，无公害与免清洗组装工艺、无铅焊接组装工艺等被先后提出并应用。例如，20世纪90年代初美国率先提出无铅工艺。以后，飞利浦半导体公司、亿恒科技公司和意法微电子联合会提出了世界上第一个无铅半导体器件的鉴定标准。20世纪90年代后期，日本电子制造业开始大力发展无铅工艺技术，并把此技术作为日本电子制造业发展的突破口。1998年松下电子公司推出以无铅焊技术生产的Mini-Disk，索尼、东芝与NEC等公司陆续提出无铅产品的计划，这使得日本在无铅工艺的应用中走在了全球同类厂商前面。

虽然无铅焊工艺会给企业带来工艺复杂、成本增加等方面的挑战，但无论从环保意识，还是从市场竞争而言，无铅焊工艺都已成为SMT中焊接技术的重要发展趋势。SMT组装系统的发展和进步与这些新组装工艺和技术相适应也是一个必然的发展方向。

另外，SMT产品的组装质量是保障产品可靠性的关键，组装过程的质量检测、控制和管理相当重要。为此，相关的技术研究发展也很快。这方面的技术发展趋势是在组装系统中加入光学自动检测设备和飞针式在线测试设备进行在线检测；利用产品过程统计分析方法和各种智能化的质量检测与控制方法进行组装质量的跟踪、分析和反馈等，从而形成系统的组装质量保障体系，从系统整体的角度去保障产品组装质量。

# 第2章　表面组装元器件

## 2.1　常见表面组装元件

### 2.1.1　电阻器

表面组装电阻器是表面组装组件之一，属于表面组装无源组件，主要供厚、薄膜电路作外贴组件用。它一般按两种方式进行分类。

（1）按特性及电阻材料分类

① 厚膜电阻器及电阻网络类。这是目前产量高、用途最广的一类。这类中的大多数为丝网印刷并烧结而成，常用二氧化钌电阻浆料作电阻材料。一般为矩形。

② 薄膜电阻器及电阻网络类。它包括真空渗碳的圆柱形固定电阻器（例如日本松下公司的ERD型）和真空蒸发合金膜的圆柱形固定电阻器（例如日本松下公司的ERO型）。

③ 大功率线绕电阻器类。例如，美国Dale公司推出的功率为3W和5W的表面组装线绕电阻器。

（2）按外形结构分类

① 矩形片式电阻器。例如日本松下公司的ERJ型，日本宫川电具株式会社的MCR型，我国的RI11型。

② 圆柱片式电阻器。这类产品目前以日本松下公司的产品为代表。

③ 异形电阻器。例如已批量生产的半固定电阻器（即表面组装电位器）、单列直插式封装电阻网络（SIP）、双列直插式封装电阻网络（DIP）等。

**1. 矩形片式电阻器**

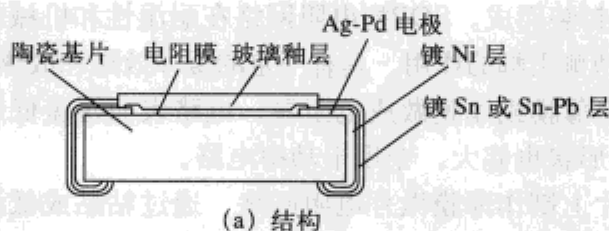
矩形片式电阻器一般是在陶瓷基板上制备出电阻体和电极。因此，若按电阻材料来分，它可分成薄膜、厚膜二类，其中矩形片式厚膜电阻器应用最广泛。

（1）结构

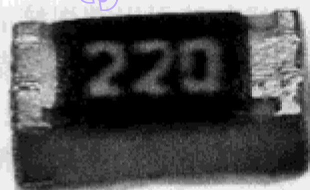
矩形片式电阻器的结构如图2-1所示，它由基板、电阻膜、保护膜、电极四大部分组成。

（2）形状和尺寸

矩形片式电阻器按电极结构形状可以分为D型和E型两种。D型结构的反面电极尺寸只标示尺寸，无公差要求；E型结构对反面电极尺寸有公差要求，是目前常用的一种。实用中多以形状尺寸（长×宽）命名片式电阻器，如1608 (1.6mm×0.8mm)/1005 (1.0mm×0.5mm)等。



(a) 结构



(b) 外形

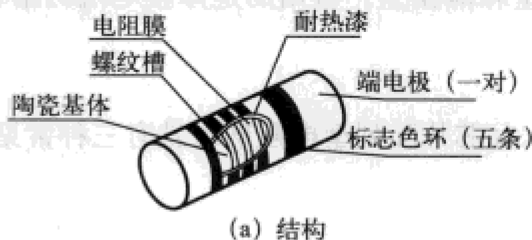
图2-1 矩形片式电阻器的结构与外形

## 2. 圆柱形片式电阻器

圆柱形片式电阻器的结构形状和制造方法基本上与原附引脚的电阻器相同，只是去掉了原来的电阻器的轴向引脚，做成无引脚形式，因此在日本称为金属电极无引脚端面组件，简称MELF电阻器。

结构

圆柱形片式电阻器的电阻体是在高铝陶瓷基体上覆金属膜或碳膜，两端压上金属帽电极，采用刻螺纹槽的方法调整电阻值，并在表面涂上耐热漆密封，最后根据电阻值涂上色环标志。见图2-2。



(a) 结构

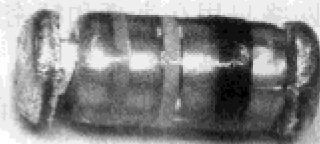

(b) 外形

图2-2 圆柱形片式电阻器

由于圆柱形片式电阻器在结构和性能上与分立组件有通用性和继承性，在制造设备和制造方法上有共同性，因此有关厂家只要有符合标准的陶瓷基体，适当改进和增添部分设备就可以生产这种产品。但现在生产使用都越来越少。

圆柱形式电阻器的阻值表示法与一般带引脚电阻器相同，用色环表示，圆柱形式电阻器色标作业后，根据情况可对帽盖电极进行电镀处理，以提高电极的焊接可靠性。

## 3. 电阻网络

所谓电阻网络是将几个单独的电阻，按预定的配置要求加以连接后置于一个组装体内。也就是说，它们是由厚膜或薄膜电阻单位沉积在一陶瓷基体内，而后封装于一塑料或陶瓷壳体内所组成。

(1) 结构

电阻网络按结构分，有小型扁平封装（SOP）型、芯片功率型、芯片载体型、芯片陈列型四种结构。

① 小型扁平封装型。SOP型将电阻组件用厚膜或薄膜方法制作在氧化铝基板上，

内连接线与外引出端焊接后，模塑封装而成。SOP型电阻网络在耐湿性和机械强度方面有较明显的优点。组装时由于两侧引脚的作用。具有一定的缓冲效果和散热性。

② 芯片功率型。一般用氮化钽薄膜或厚膜做成电阻器，电路表面覆盖低熔点玻璃膜。电路的功率大，精度高，形状也偏大，专用于功率电路。

③ 芯片载体型。它是在硅基片上制作薄膜微片电阻网络，通过粘贴或低温焊接贴装在陶瓷基板上。此微片上的焊区和基板上的焊区用连接线焊接。基板四个侧面都印烧上电极，并电镀Ni-Sn层。这种电阻网络适合复杂的电路使用，可做成小型和薄型，并高密度化。

④ 芯片陈列型。它将多个电阻组件按陈列制作在一快氧化铝陶瓷基片上，其结构和用材几乎和矩形片式电阻器一样。在基板二侧印烧电极并电镀Ni-Sn层。电极结构分凹电极和凸电极二种，凹电极可作为通孔电极。这种结构在电极强度、焊接时的自调准效果等方面有较明显的优点。

上述芯片型电阻网络的特点是小而薄，适用于高速贴装。要注意的是，当贴装基板的绕度超标时，易使电阻网络损坏。

电阻网络按电阻膜特性还可分为厚膜型和薄膜型。常用的是厚膜电阻网络，薄膜电阻网络只用在高频和精密的情况下。

(2) 电路

根据不同用途，电阻网络有多种形式。如芯片陈列型电阻网络就有三种常见形式。

**4. 片式微调电位器**

严格地说，可变电阻是一种两端器件，其阻值可以调节。而电位器则是一种三端器件，它是利用抽头部分来固定阻值进行调节。在实际情况下，这两个名词常常互用，故“电位器”一词常兼指两者。

适合表面组装用的微调电位器按结构和焊接方式可分为敞开式和密封式两种。敞开式电位器只适合于再流焊接，密封式电位器既可适用于再流焊接，也可应用于波峰焊接。

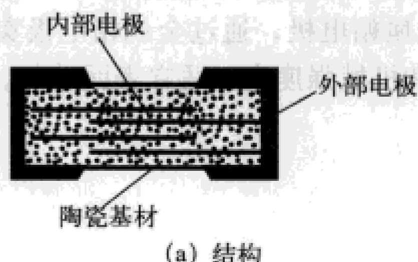
## 2.1.2 电容器

表面组装用的电容器简称片式电容器。目前使用较多的主要有两种：陶瓷系列（瓷介）的电容器和钽电容器。其中瓷介电容器约占80%，其次是钽和铝电容器。有机薄膜和云母电容器使用较少。

**1. 片式瓷介电容器**

片式瓷介电容器有矩形和圆柱形两种。圆柱形是单层结构，生产量很少。矩形则少数为单层结构，大多数为层叠式结构，这多层结构又称MLC（Multilayer Cermic Capacity），如图2-3所示。自1979年以来，MLC已普遍用于电子协调器、

收音机、彩色电视机、录音机。计算机、通信机、传真机、电子表、液晶电视机等领域，正朝着提高介电常数、减小介质厚度、增加容量体积比的方向发展。



(a) 结构

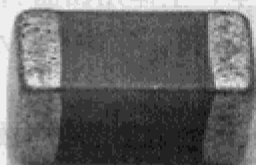

(b) 外形

图2-3 MLC的结构与外形

(1) 多层片式瓷介电容器

多层片式瓷介电容器有以下特点：

- 短小、轻、薄；
- 因无引脚、寄生电感小、等效串联电阻低、电路损耗小，故不但电路的高频特性好，而且这些特点有助于提高电路的应用频率和传输速度；
- 因电极与介质材料共烧结，耐潮性能好、结构牢固、可靠性高；
- 不受环境温度影响，具有优良的稳定性和可靠性。

(2) 圆柱形瓷介电容器

圆柱形瓷介电容器的结构主体是一个覆有金属内表面电极和外表面电极的陶瓷管。为满足表面组装工艺的要求，瓷管的直径已从传统管形电容器的3mm~6mm减小到1.4mm~2.2mm，瓷管的内表面电极从一端引出到外壁，和外表面电极保持一定的距离。外表面电极引至瓷管的另一端。通过控制瓷管内、外表面电极的重叠部分的多少，来决定电容器的电容量。将已成型的金属帽压在瓷管的两端，分别与内、外表面电极结合，构成外电极的两个引出端。瓷管的外表面再涂敷一层树脂，在树脂上打印有关标记，这样就构成了圆柱形瓷介电容的整体。

**2. 片式钽电解电容**

在各种电容器中钽电解电容器具有最大的单位体积容量，因此，容量超过0.33μF的表面组装组件通常需要使用钽电容器。钽电解电容器的电解质响应速度快，故在大规模集成电路等需要高速运算处理的场合，使用钽电容器较好，而铝电解电容器由于价格上的优势，在消费类电子设备中得到了较多的应用。片式钽电容器有矩形和圆柱形两大类。

(1) 矩形钽电解电容器

1) 类型

矩形钽电解电容器有三种类型：裸片型、模塑封装型和端帽型。

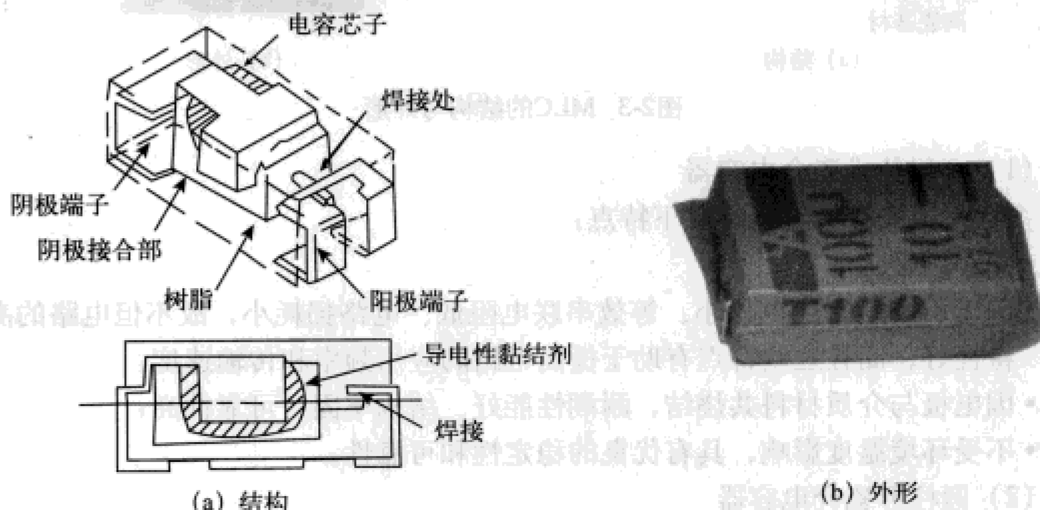
① 裸片型，又称丁字型，它不用封装、尺寸小、成本低、对恶劣环境的适应性差、形状不规则，不适宜自动安装。

② 模塑封装型，体积电容低、成本高，由于阳极和阴极与框架引脚的连接致使热应力过大而影响机械强度。

③ 端帽型，主体用树脂封装，两端装有金属帽电极，通过金属帽电极实现与印制电路板的焊接。它体积较小、高频性能好和机械强度高，适宜表面贴装。

2）结构

矩形钽电解电容器的结构如图2-4所示。




(a) 结构　　(b) 外形

图2-4 矩形钽电解电容结构与外形

（2）圆柱形钽电解电容

1）特点

① 金属电极附着固牢；

② 耐焊接热物性优良（260°C，10s），适宜波峰焊接和再流焊接；

③ 电容器极性可用色环表示；

④ 阳极采用非磁性金属，阴极采用磁性金属，传送时可根据磁性自动判别。

2）结构

圆柱形钽电解电容器由阳极和固体半导体阴极组成，采用环氧树脂封装，制作时将作为阳极引脚的钽金属线放入钽金属粉末中，加压成型，再在1650°C~2000°C的高温真空炉中烧结成阳极芯片，将芯片放入磷酸等赋能电解液中进行阳极氧化，形成介质膜，通过钽金属线与非磁性阳极端子连接后做成阳极。然后浸入硝酸锰等溶液中，在200°C~400°C的气浴炉中进行热分解，形成二氧化锰固体电解质膜作为阴极，被膜后，在二氧化锰层上沉积一层石墨，再涂银浆，用环氧树脂封装，打印标志后就成为产品。

### 2.1.3 电感器

片式电感器是继片式电阻器、片式电容器之后迅速发展起来的一种新型无源

组件。它不仅是表面组装技术的重要基础组件之一，而且在“微组装技术”中也将发挥重要作用。

片式电感器除了与传统的插装电感器有相同的扼流、退耦、滤波、调谐、延迟、补偿等功能外，还特别在LC调谐器、LC滤波器、LC延迟线等多功能器件中，体现了独到的优越性。

由于电感器受线圈制约，片式化比较困难，故其片式化晚于电阻器和电容器，其片式化率也低。尽管如此，电感器的片式化仍取得了很大的进展。不仅种类繁多，而且相当多的产品已经系列化、标准化和批量生产。

目前用量较大的主要有两种：绕线型和多层型。卷绕型用量次之。下面分别对这三种类型作介绍。

**1. 绕线型片式电感器**

绕线型片式电感器实际上是把传统的卧式绕线电感器稍加改进而成。制造时将导线（线卷）缠绕在磁心上。低电感时用陶瓷作磁心，大电感时用铁氧体作磁心，绕组可以垂直也可以水平。一般垂直绕组的尺寸最小，水平绕组的电性能要稍好一些，绕线后再加上端电极。端电极也称外部端子，它取代了传统的插装式电感器的引脚，以便表面组装。

对绕线型片式电感器来说，由于所用磁心不同，故结构上也有多种型式。

① 工字型结构

这种电感器是在工字形磁心上绕线制成的。

② 槽形结构

槽形结构是在磁心的沟槽上绕上线圈而制成的。

③ 棒形结构

这种结构的电感器与传统的卧式棒形电感器基本相同，它是在棒形磁心上绕线而成的。只是它用适合表面组装的端电极代替了插装用的引脚。

④ 腔体结构

这种结构是把绕好的线圈放在磁性腔体内，加上磁性盖板和端电极而成。

**2. 多层型片式电感器**

这种结构的电感器和多层型陶瓷电容器相似。制造时由铁氧体浆料和导电浆料交替印刷叠层后，经高温烧结形成具有闭合磁路的整体。导电浆料经烧结后形成的螺旋式导电带，相当于传统电感器的线圈，被导电带包围的铁氧体相当于磁心，导电带外围的铁氧体使磁路闭合。

多层型片式电感器的制造关键是类似线圈的螺旋式导电带。目前导电带常用的加工方法有交替法、分部法、印刷法和叠片通孔过渡法。此外，低温烧结铁氧体材料和选择适当的粘合剂种类和含量也是非常重要的。

多层型片式电感器的特点简述如下：

- 线圈密封在铁氧体中并作为整体结构，可靠性高。
- 磁路闭合，磁通量泄漏很少，不干扰周围的元器件，也不易受邻近元器件的干扰，适宜高密度安装。
- 无引脚，可做到薄型和小型化。但电感量和$Q$值较低。多层型片式电感器广泛应用在VTR、TV、音响、汽车电子、通信、混合电路中。

**3. 卷绕型片式电感器**

卷绕型片式电感器，是在柔性铁氧体薄片（生料）上印刷导体浆料，然后卷绕成圆柱形，烧结后形成一个整体，最后做上端电极而制成的。

和绕线型片式电感器相比，它的尺寸较小，某些卷绕型片式电感器可用铜或铁做电极材料，故成本较低。但因为是圆柱体的，组装时接触面积较小，所以表面组装性不甚理想，目前应用范围不大。

## 2.1.4 其他表面组装组件

**1. 片式滤波器**

（1）片式抗电磁干扰滤波器（片式EMI滤波器）

抗电磁干扰滤波器可滤除信号中的电磁干扰（EMI）。它主要用于抑制同步信号中的高次谐波噪声，防止数字电路信号失真。

（2）片式LC滤波器

LC滤波器有闭路型和金属外壳型两种。前者采用翼型引脚，后者采用钩型引脚。

（3）片式表面波滤波器（晶体滤波器）

表面波滤波器是利用表面弹性波进行滤波的带通滤波器。其压电材料为$LiNbO_3$、$LiTaO_3$等单晶体、氧化锌薄膜和陶瓷材料。使用中前者占多数，主要用在要求高的场合。

由于表面波滤波器具有集中带通滤波性能，其电路无需调整，组成组件数量少，并可采用光刻技术同时进行多组件（电极）的制作，故适合批量生产。片式表面波滤波器的外形比插孔组装的要小得多，并可在10MHz~5GHz范围内使用。

表面波滤波器要做成表面组装形式，从小型化要求看，采用基片形式的单结构较为有利。但要利用表面波，则必须在陶瓷基极和罩盖间留有一定的空隙。根据使用频率，梳型电极的线宽仅几十微米到几微米，且电极厚度只有1μm，因此加工工艺非常精细。滤波器基片上的梳型电极一般用铝做成，用黏结剂粘在陶瓷基板上。梳型电极和陶瓷基板上厚膜电极的连接常使用金丝或铝丝，在用陶瓷基板和陶瓷盖封装时，要渗氮并实行气密密封。

**2. 片式振荡器**

片式振荡器有陶瓷、晶体和LC三种。

片式陶瓷振荡器又称片式陶瓷振子，常用于振荡电路中。振子作为电信号和机械振动的转换组件，其谐振频率由材料、形状及所采用的振动形式所决定。振子要做成表面组装形式，则必须保持其基本的振动方式。可以采用不妨碍组件振动方式的新型封装的结构，并做到振子无需调整、具有高稳定性和可靠性，以适合贴装机自动化贴装。

**3. 片式延迟线**

延迟线的作用是使信号在规定的延迟时间内通过。它还可以将模拟、数字信号暂时保存，并可进行波形转换与符号化、信号合成处理等。作为高精度信号的延迟，延迟线已广泛应用于计算机、程控交换机、脉码调制通信设备、医疗设备及多种视频装置中。

片式延迟线包含LC网络的有源延迟线和无源延迟线，是复合型电子组件，与表面组装集成电路的封装形式有相同点。

片式有源延迟线的重复频率界限规定并不十分严密，根据输入脉冲的条件，有时在出现额定值几倍以上的重复频率时也可以使用。因此必须事先设定实际使用时电路的最坏情况。

片式无源延迟线有两种封装形式：双列式和单列式。使用时以4引脚的双列封装为主。

**4. 片式磁心**

片式磁心的作用是抑制同步信号中的高次谐波噪声，吸收（滤波）数字电路中的噪声，减少数字信号的失真度。在电子产品向数字化发展之际，片式磁心已广泛应用于激光音响、数字音响、数字式录像机等产品中。

**5. 表面组装继电器（SMR）**

由于继电器的结构组件多，一时难以小型化和片式化，所以表面组装继电器的发展较缓慢。它经历了干簧、电磁、固体和温簧继电器，引脚经过改进可进行表面组装的继电器，真正的SMR几个阶段。

对表面组装继电器而言，关键是解决耐焊接问题。表面组装继电器的引出端常采用J型和L型结构，以承受焊接时印制基板热胀冷缩而产生的剪切应力。一般L型结构适合于红外加热焊接，J型结构则适合于各种焊接工艺。

（1）干簧继电器

干簧继电器采用聚砜和酞酸己二烯DAP耐热工程塑料及高温环氧等密封胶制成，线圈骨架采用聚酰亚胺与氟塑料复合而成耐高温材料。引出端为紫铜镀镍和亮锡。由于它选用灵敏度较高的参数，故线圈工作时功耗较小。

（2）电磁继电器

这里介绍日本立石电机公司生产的G6G型SMR继电器。

这类继电器高度较低，有利于高密度组装，且具有良好的可焊性。继电器采

用双气隙平衡衔铁磁路结构及高效的钐钴（SmCo）永久磁铁组成的极化结构，灵敏度高、功耗小。底座和外壳用耐热性优异的芳香族聚酯塑料制成，并用耐热性密封胶封接。引出端有“J”型和“L”型两种，它们全部模塑在塑件之中，形成牢固的整体结构。通常是在所有片式组件都贴装后，再组装继电器，即先焊接其他组件，最后焊接SMR。当然焊接前需要用贴片胶将继电器预置在基板规定位置，然后进行焊接。

6. 表面组装连接器

表面组装型集成电路、电阻网络、滤波器等多引脚片式组件在电路中的大量使用，使作为组装级桥梁作用的连接器，也必须适应表面组装的迫切要求。

由于连接器的品种繁多，开关各异，稳固焊接和耐热难以解决，故与其他片式组件相比，难以形成标准系列和实现自动化组装，所以表面组装连接器（SM连接器）发展较慢。

表面组装连接器分为分离型和焊接型两种，一般采用再流焊接与印制电路板连接。

（1）分离型SM

分离型连接器主要依靠接触压力来实现和印制电路板的电气连接。由于其点数比较多，容易形成高的插入力，因而常采用无插拔力（ZIF）的结构。此外，它还可以保持稳定的连接电阻。分离型连接器的组装比较简单，用螺钉、螺母通过连接器通孔和基板直接连接。只要注意基板不变形，接触压力无变化即可。

（2）焊接型SM

焊接型连接器是可拆卸的，它采用再流焊接技术安装在印制电路板表面，常作为塑封芯片载体（PLCC）连接插座使用。

焊接型连接器的结构特点如下：

- 全新的端子结构，一般采用翼形和钩形。
- 耐高温，再流焊接215°C，1min内不起泡，不翘曲。
- 导向定位销插入定位孔内，保证接触体和印制电路板的连接点一一对准，每个热铆后的定位销可产生高达5.5N的保持力。

焊接型连接器的主要形式如下：

① 表面安装直式插头

该插头可供贴装机安装，能经受高温气相焊（215°C）。双排插针，间距2.54mm×2.54mm，接点数最多为100点。

② 直式插座

双排插孔，间距2.54mm×2.54mm，接点数最多为60，焊接尾宽0.457mm，接触对材料为磷青铜。

③ 塑料芯片载体（PLCC）用插座

采用翼形或钩形引脚，引脚中心距为1.27mm，接触对材料为铍青铜，接触对镀层为锡合金，接触对数量为20～124个。

④ 直角插座

接点数量最多为60，接触体为镍底电镀，材料为PET。

⑤ 集成电路插座

性能符合MIL-S-83734标准，工作温度为−65℃。

**7. 片式敏感组件**

片式敏感组件主要指片式压敏电阻和片式热敏电阻。

(1) 片式压敏电阻

由电压的变化使电阻值产生变化的电阻称作压敏电阻。其特性可用下式表示：

$$I=\left(\frac{V}{c}\right)^{a}$$

式中：$a$、$c$——常数（$a=1$时，$c$相当于$R$）。

压敏电阻主要有以下几种：

- 利用微粒间接电阻的碳化硅（SiC）电阻；
- 利用金属－半导体接触部分形成阻挡层的硒（Se）电阻；
- 利用pn结的硅（Si）电阻；
- 利用晶粒边界阻挡层的氧化锌（ZnO）电阻。

不同类型的压敏电阻，其非线形指数、变阻电压、电压—电流特性的对称性等也不同。目前ZnO压敏电阻具有锐变非线性和大的电流耐量，已成为压敏电阻中的主要品种，并率先做成表面组装形式。

(2) 片式热敏电阻

片式热敏电阻主要用来实现电路的温度补偿。其阻值随温度变化的关系可由下式表示：

$$R=R_0\exp\frac{B}{T}$$

式中：$R_0$——温度设定为无穷大时的阻值；

　　$B$——电阻常数。

片式热敏电阻按材料和制造方法，可分为陶瓷型和厚膜型两种。陶瓷型易于小型化、薄型化。但厚膜型在制造精度、稳定性、可靠性等方面占优势。常见片式热敏电阻的外形尺寸为3.2mm×1.6mm、2.0mm×1.25mm，圆柱型的尺寸为φ1.4mm×3.5mm。

目前，片式热敏电阻已广泛用于电视机和汽车调节电路中，并在各种家用电器、冰箱、空调设备的温度测量或控制中用作传感器。

# 2.2 表面组装半导体器件

## 2.2.1 封装型半导体器件

### 1. 塑封器件

表面组装塑封器件有多种类型及规格，是电子产品中应用最广泛的半导体器件。

（1）小外形晶体管

小外形晶体管（SOT）又称作微型片式晶体管，主要用于混合式集成电路，被组装在陶瓷基板上。近年来已大量用于环氧玻璃纤维基板上的组装。

SOT的主要封装形式有SOT23、SOT89、SOT143等。SOT23的结构见图2-5。

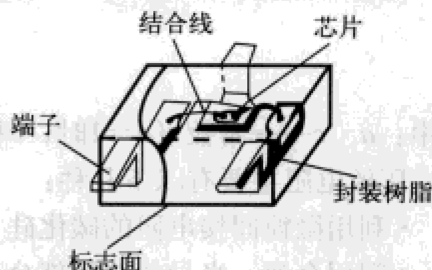


图2-5 SOT23结构

（2）小外形封装集成电路

小外形封装集成电路（SOP）习惯称作SOIC，在日本被称为小型扁平封装器件，是DIP集成电路的缩小形式。它占用PCB的面积比DIP小，重量比DIP减轻了1/9~1/3。这种器件的引脚排列在封装体的两侧，引脚形式有翼形、J形和I形。

（3）塑封有引脚芯片载体（PLCC）

PLCC的形状有矩形和方形两种。在封装体的四周具有向下弯曲的“J”形短引脚（图2-6）。

PLCC的引脚数一般为数十至上百条。这种封装一般用在计算机微处理单元IC、专用集成电路（ASIC）、门阵列电路等处。

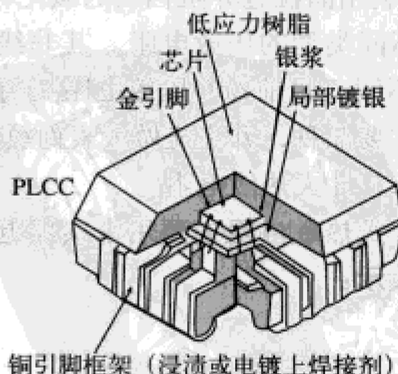


图2-6 塑封有引脚芯片载体封装结构

（4）方形扁平封装芯片载体（QFP）

随着大规模集成电路的集成度空前提高，特别是专用集成电路（ASIC）的广泛应用，芯片的引脚正朝着多引脚、细间距方向发展。QFP是专为小引脚距表面组装IC而研制的新型封装形式。

QFP也有矩形和方形之分。其引脚用合金制成，引脚的中心距以1.0mm、0.8mm、0.65mm三种使用最普遍，引脚形状有翼形、J形和I形。其封装结构见图2-7。

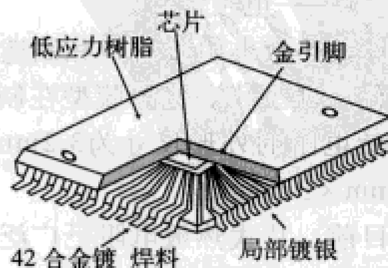


图2-7 QFP的封装结构

**2. 陶瓷封装器件**

（1）无引脚陶瓷芯片载体（LCCC）

LCCC的外壳采用95%的氧化铝或氧化铍陶瓷经印刷布线后叠片加压，在保护气体中高温烧结而成。然后再粘贴半导体芯片，完成芯片与外壳端子间的连接，再加上顶盖进行密封封装。这种芯片载体封装的特点是没有引脚，在封装体的四周有若干个城堡状的镀金凹槽，作为与外电路连接的端点可直接将它焊到PCB上的金属电极上。

（2）有引脚陶瓷芯片载体（LDCC）

由于LCCC没有金属线，若直接组装在有机电路基板上，则会由于温度、热膨胀系数不同，而在焊点上造成应力，甚至引起焊点开裂，因而又研制了LDCC。LDCC用铜合金或可代合金制成“J”形或“翼”形引脚，焊在LCCC封装体的镀金凹槽的端点上，而成为有引脚陶瓷芯片载体。由于这种附加引脚的工艺复杂繁琐，成本高而不适应大批量生产，故目前这类封装很少采用。

## 2.2.2 其他新型器件

**1. BGA器件**

BGA（Ball Grid Array）封装技术是近年发展起来的一种新型封装技术。BGA封装器件在基板底面以阵列方式制出球形触点作为引脚，具有引脚短、引脚电感和电容小；引脚多、引出端数与本体尺寸的比率高；焊点中心距大、组装成品率高；引脚牢固、共面状况好；适合MCM的封装需要，有利于实现MCM的高密度、高性能要求等一系列优点，因而迅速发展和越来越广泛地应用。

BGA主要分为塑料球形栅格阵列（PBGA，Plastic Ball Grid Array）、陶瓷球栅阵列（CBGA，Ceramic Ball Grid Array）、陶瓷柱栅阵列（CCGA，Ceramic Column Grid Array）三种类型。图2-8为PBGA封装结构示意图。

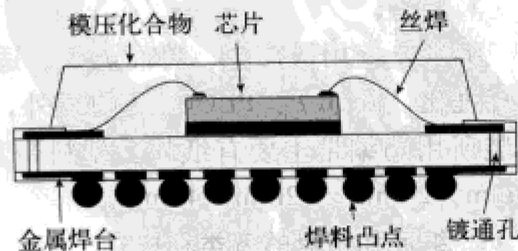



图2-8 PBGA封装结构图

**2. CSP器件**

芯片尺寸封装（CSP，Chip Size Package）技术是指一种焊区面积等于或略大于裸芯片面积的单芯片封装技术。采用该技术能解决芯片与封装的矛盾（芯片小，封装大）、IC（集成电路）引出端脚需要不断增长、MCM（多芯片组件）裸芯片不能取拿、预测、老化（burn in）筛选等问题。为此，它从20世纪90年代初期出现后即得到了迅速发展和应用。

CSP技术是芯片级封装技术，它的结构形式其实是以引脚接合的LOC（Lead on Chip）和BGA等所采用的封装基本形式的改进或延伸。其典型结构有LOC型

CSP、薄膜型CSP、T-BGA型CSP、F/C BGA型CSP等数种（如图2-9所示）。

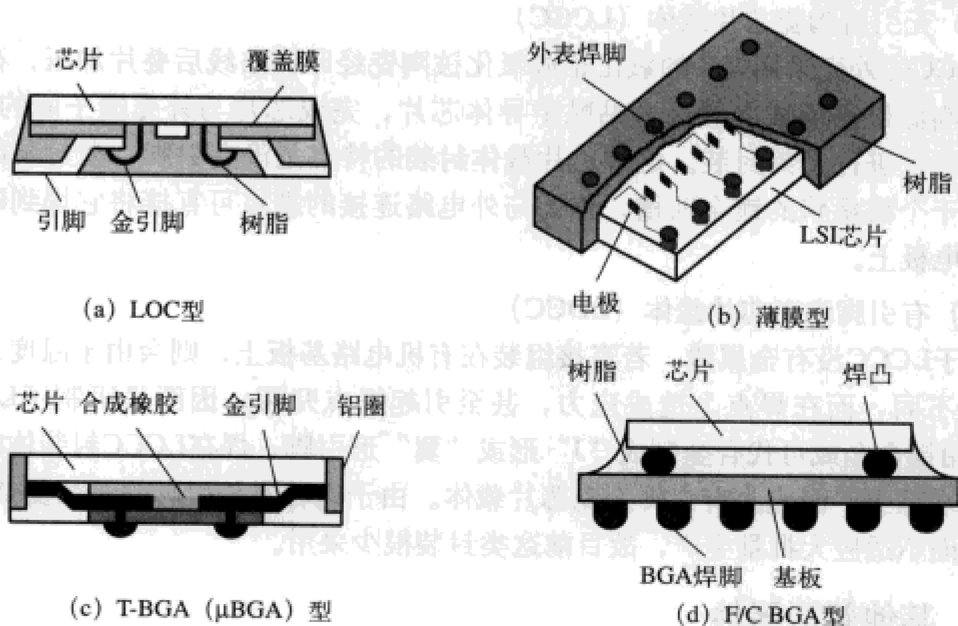



图2-9 CSP封装类型

## 2.3 表面元器件的包装

### 2.3.1 编带包装

**1. 特点**

编带是应用最广泛、时间最久、适应性强、贴装效率高的一种包装形式，已经标准化。除QFP、PLCC、LCCC外，其余元器件均可采用这种包装方式。编带包装所用的编带主要有纸带、塑料带和黏结带三种，尺寸主要有8mm、12mm、16mm、24mm、32mm、44mm。

**2. 编带和带盘的分类和尺寸**

（1）纸编带

纸编带由基带、纸带和盖带组成（如图2-10所示），是使用较多的一种编带。带上的小圆孔是进给定位孔。矩形孔是片式组件的定位孔，也是承料腔，其由组件外形尺寸而定。纸编带的成本低，适合高速贴装机使用。目前大多数片式电阻和片式瓷介电容都用这种编带。

纸编带的包装过程是在专用设备上自动完成的，其过程如下。

基带传送→冲裁（冲切承料和进给的定位）→底带经加温后与基带黏合→片式组件进位（组件高速地被专用吸嘴吸取后编入基带内）→盖带黏合（对盖带加

温后，覆盖在基带上）→卷绕（经带盘卷绕后完成编带包装）。

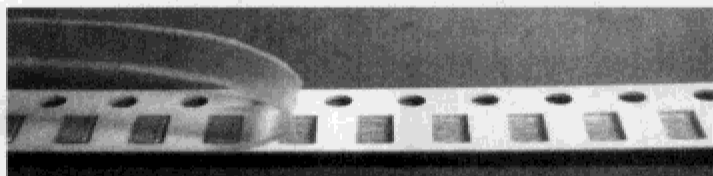


图2-10 8mm纸编带尺寸

（2）塑料编带

塑料编带因载带上有组件定位的料盒也被做成为“凸型”编带（如图2-11所示）。它除了带宽范围比纸编带大外，包装的元器件也从矩形扩大到圆柱形、异形及各种表面组装组件，如铝电解电容、滤波器、小外形封装电路等。

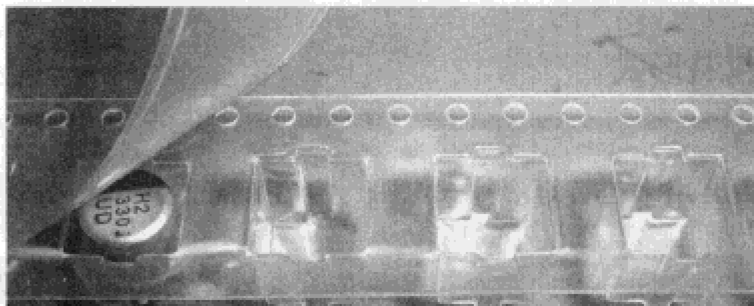


图2-11 塑料编带尺寸

塑料编带由附有料盒的载带和薄膜盖组成。载带和料盒是一次模塑成形的，其尺寸精度好，编带方式比纸编带简便。包装时，由专用供料装置，将元器件依次排列后逐一编入载带内，然后贴上盖带，卷绕在带盘上。为防止静电使元器件受损或影响贴装，通常事先在塑料载带的基材内添加某些有机填料。

（3）黏结式塑料（纸）编带

黏结式编带主要用来包装小外形封装集成电路、片式电阻网络、延迟线、片式振子等外形尺寸较大的片式元器件，由塑料或纸质基带和黏结带组成。其包装方式是在基带中心部预制通孔（长圆形孔），编带时将黏结带贴在元器件定位的基带反面，利用通孔中露出的黏结带部分固定被包装组件。

基带两边的小圆孔，与上述编带一样，是传动编带进的进给定位孔。黏结式编带组件的供料过程为：当编带进到料口时由黏结带后面的针型元器件顶出，使元器件在与黏结带脱离的同时被贴装机的真空吸住，然后贴放在印制电路板上。

（4）带盘的分类和尺寸

编带盘主要有纸质和塑料带盘两种。纸质带盘结构简单、成本低，常用来包装（卷绕）圆柱形的元器件。它由纸板冲成两盘片，和塑料心轴黏结成带盘。目前，塑料带盘的合用正在逐步增加，其使用场合与纸带盘基本相同。

带盘的尺寸除常用的ϕ178mm、ϕ330mm外，也可使用ϕ250mm、ϕ360mm等尺

寸。目前，有些厂家为增加一次贴装时间和减少换带次数，已开始在贴装机上使用加大直径的带盘（如图2-12所示）。




图2-12 带盘示意图

## 2.3.2 其他包装形式

### 1. 棒式包装

棒式包装主要用来包装矩形片式电阻、电容和某些异形与小型器件，主要用于SMT元器件品种很多且批量小的场合。

包装时将组件按同一方向重叠排列后依次装入塑料棒内（一般100～200只/棒），棒两端用止动栓插入贴装机的供料器上，将贴装盒罩移开，然后按贴装程序，每压一次棒就给基板提供一只片式组件。

棒式包装的包装材料成本高，且包装的组件数受限。另外，若每棒的贴装压力不均衡，则组件易在细狭的棒内卡住。但对表面组装集成电路而言，采用棒式包装的成本比托盘包装式要低，不过贴装速度不及编带方式。

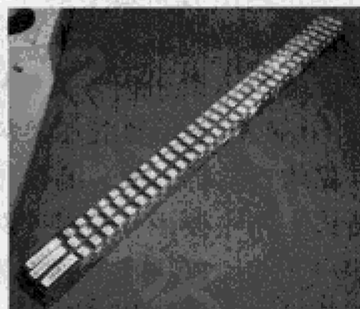


图2-13 棒式包装

棒式包装见图2-13。包装棒的端面型腔为矩形的包装矩形组件，型腔为异型的只用来包装微调电容等异形组件。

### 2. 托盘包装

托盘包装是用矩形隔板使托盘按规定的空腔等分（如图2-14所示），再将器件逐一装入盘内，一般50只/盘，装好后盖上保护层薄膜。托盘有单层、也有3、10、12、24层自动进料的托盘送料器。这种包装方法刚应用时，主要用来包装



图2-14 托盘包装

外形偏大的中、高、多层陶瓷电容。

托盘式包装的托盘有硬盘和软盘之分。硬盘常用来包装多引脚、细间距的QFP器件，这样封装体引出线不易变形。软盘则用来包装普通的异形片式组件。

**3. 散装**

散装是将片式组件自由封入成形的塑料盒或袋内，贴装时把料盒插入料架上，利用送料器或送料管使组件逐一送入贴装机的料口。这种包装方式成本低、体积小，但适应范围小，多为圆柱形电阻采用。散装料盒与组件、外形尺寸与供料架要匹配。

## 2.3.3 包装形式的选择

SMT元器件的包装形式也是一项关键内容，它直接影响组装生产的效率，必须结合贴片机送料器的类型和数目进行最优化设计。SMT元器件的包装类型见表2-1。

**表2-1 表面组装元器件已有的包装品种**

| 分类 | 组件尺寸/mm | | | 编带包装/mm | | | | 黏结式编(32mm) | 棒式 | 托盘式 | 散装式 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 长 | 宽 | 厚 | 纸编带 | 塑料编带 | 带宽 | 间距 | | | | |
| 矩形电阻器、电容器 | 1.6 | 0.8 | 0.8 | ○ | | 8 | 2.4 | | ○ | | |
| | 2.0 | 1.25 | 0.7<br>1.0 | ○ | ○ | 8 | 2.4 | | ○ | | ○ |
| | 3.2 | 1.6 | 0.7<br>1.0 | ○ | ○ | 8 | 4 | | ○ | | ○ |
| 矩形电容器 | 4.5 | 3.2 | 2.0 | | ○ | 12 | 8 | | ○ | | |
| | 5.7 | 5.0 | 2.0 | | ○ | 12 | 8 | | | | |
| 微调电容器 | 4.5<br>4.5 | 4.0<br>3.2 | 3.0<br>1.6 | | ○<br>○ | 12 | 8 | | ○ | | |
| 微调电位器 | 4.5 | 3.8 | 1.5<br>1.9 | | ○ | 12 | 8 | | ○ | | |
| 电解电容器 | 4.5<br>5.6 | 3.8<br>5.0 | 2.0 | | ○<br>○ | 12<br>16 | 8 | | | | |
| 圆柱形阻容件 | φ1.0×2.0<br>φ1.4×3.5 | | | | ○ | 8<br>8 | 2<br>4 | | | | ○<br>○ |
| 电感器 | 3.2 | 2.5 | 1.6<br>2.0 | | ○ | 8 | 4 | | | | |
| | 4.5 | 3.2 | 2.5 | | ○ | 12 | 8 | | | | |
| 滤波器 | 4.5<br>7.0<br>7.0<br>6.8 | 1.6<br>4.5<br>4.8<br>4.5 | 1.0<br>2.1<br>2.4<br>1.5 | | ○<br>○<br>○<br>○ | 12<br>12<br>12<br>12 | 4<br>8<br>8<br>8 | | | | |
| | φ1.6×6.8 | | | | ○ | 12 | 4 | | | | |

（续）

| 分　类 | 组件尺寸/mm | | | 编带包装/mm | | | | 黏结式编(32mm) | 棒式 | 托盘式 | 散装式 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 长 | 宽 | 厚 | 纸编带 | 塑料编带 | 带宽 | 间距 | | | | |
| 电阻网络 | 5.1<br>11 | 2.2<br>7.7 | 1<br>2.2 | | ○<br>○ | 24<br>44 | 8<br>12 | ○ | | | |
| 晶体管 | 2.9 | 2.5 | 1.1 | | ○ | 12 | 8 | | | | |
| SOPIC | | | ○ | 16<br>24<br>44 | 8<br>12 | ○ | ○ | ○ | | | |
| QFPIC | | | ○ | 24<br>44 | 12<br>6 | | | ○ | | | |

○ 表示已有成品供应或已有应用。

## 2.4　表面组装元件的编码原则

### 2.4.1　系统码说明

E X1 X2 -X3 X4 X5 X6 X7- X8 X9 X10






系统码中E指示SMT类。

系统码中X1指示电子元件种类,指定X1或X2等代表一个码，以下同。

X1由A，B，C，…24个字母组成（去除I，O）。

系统码中X2指示电子元件材质。

X2由A，B，C，…24个字母组成（去除I，O字母）。

X2因不同电子元件种类所指示不同材质而有差别（去除I，O字母）。

### 2.4.2　特性码说明

特性码中X3、X4、X5、X6指示电器特性值。

X3、X4、X5、X6组合构成电器特性值代码。

X3、X4、X5、X6各位码均为十进制数。

X7指示电器耐压或耐电流值。

电阻类: X7为十进制数码,指示耐电流值。

电容类: X7为A，B，C，…24个字母（除I，O两字母外）组成,指示耐电压值。

特性码中X8指示电器特性值之误差值。

特性码中X9指示电子元件外观尺寸。

### 2.4.3 包装码说明

包装码X10指示零件的包装方式。

### 2.4.4 元件编码细则

1. 陶瓷片式电容（CERAMIC CHIP CAPACITOR）

| E | C | X2- | X3 | X4 | X5 | X6 | X7- | X8 | X9 | X10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |

如：ECA-0105Y-K31

第1码、第2码、第3码为区分码。

第2码指示电容类SMT电子元件,以“C”表示。

第3码指示电容类元件材质,以大写字母A、B、C等表示，现已使用三种材质。

A表示使用材质为陶瓷电容,焊接面镀镍。

B表示使用材质为陶瓷电容,焊接面镀金。

C表示使用材质为陶瓷电容,焊接面镀铅、银。

第4码、第5码、第6码、第7码组合为电容值。

计算方法:

电容值$C$=X3X4X5×$10^{X6}$pF

例如：ECA-0105Y−K31

电容值$C=010\times10^5\text{pF}=1\times10^6\text{pF}=1\text{uF}$

第8码为电容耐压值。

以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）及指定数字指代。

电容各耐压值指代规定如下:

| | | | |
|---|---|---|---|
| M=10V | Y=16V | K=25V | N=50V |
| 1=100V | 2=200V | 5=500V | 6=600V |
| A=1000V | S=1500V | G=2000V | W=2500V |
| H=3000V | P=4000V | Q=5000V | D=6.3V |

第9码为电容值误差。

以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各误差值指代规定如下:

| | | | |
|---|---|---|---|
| C=±0.25pF | D=±0.50pF | F=±1%(>25pF) | G=±2%(>13pF) |
| J=±5%,X7R | B=±5%,COG | K=±10%,X5R | A=±10%,COG |
| N=±20%,Y5V | M=±20%,X7R | E=±20%,COG | Z=+80%,−20%,Y5V |
| P=+100%,0% | | | |

第10码为电容器外形长宽尺寸。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）及0，1，…，9数码指代。

电容各长宽尺寸代码规定如下：

| 尺寸 \ 代码 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 英制尺寸 | 0402 | 0504 | 0508 | 0603 | 0612 | 0805 | 0907 | 1005 | 1206 |
| SI尺寸 | 1005 | 1310 | 1320 | 1608 | 1632 | 2125 | 2318 | 2520 | 3216 |

| 尺寸 \ 代码 | 9 | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 英制尺寸 | 1210 | 1505 | 1805 | 1808 | 1812 | 1825 | 2220 | 2225 | 3640 |
| SI尺寸 | 3225 | 3813 | 4512 | 4520 | 4532 | 4564 | 5650 | 5664 | 92A1 |

电容各长宽尺寸代码所指之尺寸大小算法：

如：ECA-0105Y-K31

其中“3”代表外形尺寸：

（1）英制尺寸长×宽：0603＝0.06in×0.03in（$1\text{in}=2.54\times10^{-2}\text{m}$）

（2）SI尺寸长×宽：1608＝1.6mm×0.08mm

要特别说明的是，代码“H”中字母A指代数10，即，“H”代表外形尺寸：

（1）英制尺寸长×宽：3640＝0.36in×0.40in

（2）SI尺寸长×宽：92A1＝9.2mm×10.1mm

第11码为包装方式。由1，2，…,9中的一个数字构成。目前使用的包装方式有：

1＝8mm包装带宽。

2＝12mm包装带宽。

3＝16mm包装带宽。

4＝24mm包装带宽。

**2. 片式钽电容（TANTALUM CHIP CAPACITOR）**

E C X2 - X3 X4 X5 X6 X7 - X8 X9 X10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11　　如:ECS-0105F-KB1

第1码、第2码、第3码为区分码。

第1码指示SMT类电子元件,以“E”表示。

第2码指示电容类,SMT电子元件以“C”表示。

第3码指示电容类元件材质,现使用材料以S、M、L、F等表示。

S表示STD钽电容，焊接面镀锡铅。

M表示MIL钽电容，焊接面镀锡铅。

L表示LOW ESR钽电容，焊接面镀锡铅。

F表示FUSED钽电容，焊接面镀锡铅。

第4码、第5码、第6码、第7码组合为电容值。

计算方法：

电容值$C$=X3X4X5×$10^{X6}$pF

例如：ECS-0105F-KB1

电容值$C$=010×$10^5$pF=1×$10^6$pF=1μF

第8码为电容耐压值。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各耐压值指代规定如下：

| | | | |
|---|---|---|---|
| C=4V | D=6.3V | F=10V | H=16V |
| J=20V | K=25V | M=35V | N=50V |

第9码为电容值误差。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各误差值指代规定如下：

| | | | |
|---|---|---|---|
| J=±5% | K=±10% | M=±20% | G±2%(>13pF) |

第10码为电容器外形长宽尺寸。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各长宽尺寸代码规定如下：

| 代码/尺寸 | R | S | A | T | B | C | D | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 英制尺寸 | 0805 | 1206 | — | 1306 | 1306 | 2312 | 2816 | 2816 |
| SI尺寸 | 2125 | 3216(厚度1.2mm) | 3217 | 3528(厚度1.2mm) | 3528 | 6032 | 7343 | 7343(厚度4.0mm) |

第11码为包装方式。由1、2、3、4中的一个数字或指定字母“W”构成。

目前使用的包装方式有：

1=8mm包装带宽。

2=12mm包装带宽。

3=16mm包装带宽。

4=24mm包装带宽。

W=Waffle package包装带宽。

### 3. 电解电容（ELECTROLYTIC CAPACITOR）

E C X2 - X3 X4 X5 X6 X7 - X8 X9 X10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11　　　如：ECH-0107F-KG3

第1码、第2码、第3码为区分码。

第1码指示SMT类电子元件，以“E”表示。

第2码指示电容类SMT电子元件，以“C”表示。

第3码指示电容类元件材质，现在使用的材料以H等表示。

H表示STD电解电容,焊接面镀锡铅。

第4码、第5码、第6码、第7码组合为电容值。

计算方法：

电容值$C$=X3X4X5×$10^{X6}$pF

如：ECH-0107F-KG3

电容值$C$=010×$10^{7}$pF=100×$10^{6}$pF=100μF

第8码为电容耐压值。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各耐压值指代规定如下：

| C=4V | D=6.3V | F=10V | H=15V | P=16V |
|---|---|---|---|---|
| J=20V | K=25V | M=35V | N=50V | |

第9码为电容值误差。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各误差值指代规定如下：

K=±10%。

M=±20%。

第10码为电容器外形长宽尺寸。

以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电容各长宽尺寸代码规定如下：

A=φ3mm，厚度5.4mm。

B=φ4mm，厚度5.4mm。

C=φ5mm，厚度5.4mm。

D=φ6.3mm，厚度5.7mm。

E=φ4mm，厚度5.7mm。

F=φ5mm，厚度5.7mm。

G=φ6.3mm，厚度5.7mm。

H=φ8mm，厚度6.2mm。

K=φ8mm，厚度10.2mm。

M=φ10mm，厚度10.2mm。

第11码为包装方式。由1、2、3、4中的一个数字或指定字母“W”构成。

目前使用的包装方式有：

2=12mm包装带宽。

3=16mm包装带宽。

4=24mm包装带宽。

### 4. 片式电阻（CHIP RESISTOR）

E R X2 - X3 X4 X5 X6 X7 - X8 X9 X10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 如:E R A-0 1 0 3 1-K 5 1

第1码、第2码、第3码为区分码。

第1码指示SMT类电子元件，以“E”表示。

第2码指示电阻类SMT电子元件，以“R”表示。

第3码指示电阻类元件材质，现在使用的材料以“A”表示。A表示陶瓷电阻，焊接面镀镍。

第4码、第5码、第6码、第7码组合为电阻值。

计算方法：

电阻值$R$＝X3X4X5×$10^{X6}$

如:ERA－01031－K51

电阻值$R$＝010×$10^3$＝10k

以“R”表示小数点,如：ERA-10R21-J31

其中10R2表示阻值大小为10.2 。

第8码为电阻耐瓦特数。

以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）或1，2，…，9之一码指代。

电阻各耐瓦特数指代规定如下:

1＝0.063W，1A，50V。　　2＝0.10W，1A，75V。

3＝0.10W，1A，150V。　　4＝0.125W，1.12A，0.64V。

5＝0.125W，2A，150V。　　6＝0.125W，2A，200V。

7＝0.25W，1.58A，0.9V。　　8＝0.25W，2A，200V。

9＝0.5W，2.23A，1.28V。　　A＝0.5W，2A，200V。

B＝1.0W，2A，200V。

第9码为电阻值误差。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电阻各误差值指代规定如下:

F＝±1%。

M＝±2%。

J＝±5%。

K＝±10%。

第10码为电阻器外形长宽尺寸。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）或0，1，2，…，9中之一指代。

电阻各长宽尺寸代码规定如下:

| 代码<br>尺寸 | 0 | 3 | 5 | 8 | 9 | K | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 英制尺寸 | 0402 | 0603 | 0805 | 1206 | 1209 | 2009 | 2512 |
| SI尺寸 | 1005 | 1608 | 2125 | 3216 | 3225 | 5025 | 6332 |

电阻各长宽尺寸代码所指之尺寸大小算法。

如：ERA－01031－K51。

其中“5”代表外形尺寸:

(1) 英制尺寸长×宽：0805＝0.08in×0.05in

(2) SI尺寸长×宽：2012＝2.0mm×1.2mm

第11码为包装方式。由1、2、3、4中的一个数字。

目前使用的包装方式有:

1＝8mm包装带宽。

2＝12mm包装带宽。

5. 片式排阻（CHIP RESISTOR）

E R X2 - X3 X4 X5 X6 X7 - X8　X9 X10

1 2 3　4 5 6 7 8　9 10 11　　如:E R B-0 1 0 3 4-K 5 1

第1码、第2码、第3码为区分码。

第1码指示SMT类电子元件,以“E”表示。

第2码指示排阻类SMT电子元件,以“R”表示

第3码指示排阻类元件材质,现使用材料以“B”及“C”表示。

B表示芯片排阻,凸电极,焊接面镀镍。

C表示芯片排阻,凹电极,焊接面镀镍。

第4码、第5码、第6码、第7码组合为排阻值。

计算方法:

排阻值$R＝X3X4X5X \times 10^{X6}$

如：ERB−01034−K51

排阻值$R＝010 \times 10^3＝10 \times 10^3＝10k$

第8码为排阻回路数。以2以上之数字表示排阻回路数,该数字与排阻回路数一致。

目前使用回路有以下四种。

2＝2个回路。

3＝3个回路。

4＝4个回路。

7＝7个回路。

第9码为电阻值误差。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）指代。

电阻各误差值指代规定如下。

F＝±1%。

G＝±2%。

J＝±5%。

K＝±10%。

第10码为电阻器外形长宽尺寸。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）或0，1，2，…，9中之一码指代。

电阻各长宽尺寸代码规定如下:

| 代码 / 尺寸 | 0 | 3 | 8 | K |
|---|---|---|---|---|
| 英制尺寸 | 0404 | 0606 | 1206 | 2012 |
| SI尺寸 | 1010 | 1616 | 3216 | 5030 |

第11码为包装方式。为1、2、3、4中的一个数字。

目前使用的包装方式有:

1＝8mm包装带宽。

2＝12mm包装带宽。

**6. 电感（INDUCTOR）**

E R X2 - X3 X4 X5 X6 X7 - X8 X9 X10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 如：ENB-00600-A21

第1码、第2码、第3码为区分码。

第1码指示SMT类电子元件,以“E”表示。

第2码指示电感类SMT电子元件,以“N”表示。

第3码指示电感类元件抗干扰性质,现使用材料以“A”或“B”表示。

A表示不具抗电磁干扰电感。

B表示具抗电磁干扰电感。

第4码、第5码、第6码、第7码、第8码组合表示阻抗值。

计算方法：

阻抗值$H$＝X3X4X5 × $10^{X6}$

如：ENB−00600−A21

阻抗值$H$＝006 × $10^0$ ＝6

第9码为电感耐电流值。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）。

现使用的电感耐电流值有以下几种。

A＝200mA。

B＝500mA。

C＝3000mA。

第10码为电感外形尺寸。以A，B，C…24个字母（除I，O两字母）及1，2，…，9之一数字构成。

目前使用的外形尺寸如下:

| 代码 / 尺寸 | 0 | 2 | 3 | 7 | 9 | D | F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 英制尺寸 | 0603 | 0805 | 1206 | 0907 | 1210 | 1805 | 5650 |
| SI尺寸 | 1508 | 2012 | 3216 | 2318 | 3025 | 4512 | E0C0 |

第11码为包装方式。由1、2、3、4中的一个数字构成。

目前使用的包装方式有两种:

1＝8mm包装带宽。

2＝12mm包装带宽。

# 第3章　PCB材料与制造

## 3.1　PCB的特点与材料

### 3.1.1　PCB的特点

SMT印制电路板比传统PCB的电路图形设计要求要高，其主要特点是：高密度、小路径、多层数、高板厚/孔径比、优良的运输特性、高平整光洁度和尺寸稳定性等。

SMT和传统PCB的有关性能比较见表3-1和表3-2。

表3-1　误差值比较表

| 项　　目 | SMT基板 | 传 统 基 板 |
|---|---|---|
| 最细导线宽(1oz铜箔)/in | 0.005 | 0.010 |
| 导线宽误差/in | 0.008以下±0.001<br>0.005时+0.000<br>−0.001 | ±20% |
| 导线间距(最小)/in | 0.005 | 0.010 |
| 层与层之间距离(最小)/in | 0.003 | 0.005 |
| 孔位准确度<br>12in以内<br>12in以外 | <br>±0.004<br>±0.006 | <br>±0.006<br>±0.010 |
| 定位孔孔径/in | +0.002<br>−0.000 | |
| 定位孔中心偏移度/in | ±0.003 | |
| 焊垫至基准点/in | 0.003 | |
| 焊垫附着强度 | 500g/mm² | |
| 板厚与孔径比 | 1：5~1：15 | 1：3，1：4 |

表3-2　导线和焊垫之关系

| 线宽度/in | 导线间距/in | 焊垫之间导线数目 | | | 焊垫之间尺寸/in | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SMT0.050in间距 | SMT0.1in间距 | DIP0.1in间距 | SMT | DIP |
| 0.008 | 0.012 | 1 | 3 | 2 | 0.050 | 0.062 |
| 0.008 | 0.087 | 1 | 4 | 2 | 0.042 | 0.055 |
| 0.006 | 0.0065 | 1 | 4 | 3 | 0.032 | 0.060 |

（续）

| 线宽度/in | 导线间距/in | 焊垫之间导线数目 | | | 焊垫之间尺寸/in | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SMT0.050in间距 | SMT0.1in间距 | DIP0.1in间距 | SMT | DIP |
| 0.005 | 0.005 | 2 | 5 | 4 | 0.045 | 0.060 |
| 0.004 | 0.0043 | 2 | 6 | 5 | 0.035 | 0.055 |

### 3.1.2 基板材料

SMT电路基板材料主要有无机材料和有机材料两大类。无机材料主要指陶瓷电路基板，有机材料中最常用的是环氧玻璃纤维基板。表3-3表示了各种基板材料

**表3-3 电路基板材料的性能**

| 基板材料＼性能 | 玻璃化转变温度/°C | *x*轴和*y*轴的*CTE*/($10^{-6}$/°C) | *z*轴的*CTE*/($10^{-6}$/°C) | 热导率/(W/m·°C) 25°C下 | 抗挠强度Kpsi 25°C下 | 介电常数在1MHz、25°C下 | 体积电阻率/·cm | 表面电阻/ | 吸潮性/重量百分比 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 环氧玻璃纤维 | 125 | 13~18 | 48 | 0.16 | 45~50 | 4.8 | $10^{12}$ | $10^{13}$ | 0.1 |
| 聚酰亚胺玻璃纤维 | 250 | 12~16 | 57.9 | 0.35 | 97 | 4.4 | $10^{13}$ | $10^{12}$ | 0.32 |
| 环氧aramid纤维 | 125 | 6~8 | ~50 | 0.12 | 40 | 4.1 | $10^{12}$ | $10^{13}$ | 0.85 |
| 聚酰亚胺aramid纤维 | 250 | 3~7 | ~60 | 0.15 | 50 | 3.6 | $10^{12}$ | $10^{12}$ | 1.5 |
| 聚酰亚胺石英 | 250 | 6~8 | 50 | 0.3 | 95 | 4.0 | $10^{13}$ | $10^{12}$ | 0.4 |
| 环氧石墨 | 125 | 7 | ~48 | 0.16 | | | $10^{12}$ | $10^{13}$ | 0.1 |
| 聚酰亚胺石墨 | 250 | 6.5 | ~50 | 1.5 | | 6.0 | $10^{14}$ | $10^{12}$ | 0.35 |
| 聚四氟乙烯玻璃纤维 | 75 | 55 | | | | 2.2 | $10^{14}$ | $10^{14}$ | 000 |
| 玻璃/聚砜 | 185 | 30 | | | 14 | 3.5 | $10^{15}$ | $10^{13}$ | 0.029 |
| 环氧石英 | 125 | 6.5 | 48 | ~0.16 | | 3.4 | $10^{12}$ | $10^{13}$ | 0.10 |
| 氧化铝陶瓷 | | 6.5 | 6.5 | 2.1 | 44 | 8 | $10^{14}$ | $10^{14}$ | 000 |
| 氧化铍陶瓷 | | 8.4 | 8.4 | 14.1 | 50 | 6.9 | $10^{15}$ | $10^{15}$ | 000 |
| 瓷釉覆盖钢板 | | 10 | 13.3 | 0.001 | + | 6.3~6.6 | $10^{11}$ | $10^{13}$ | 000 |
| 聚酰亚胺CIC芯板 | 250 | 6.5 | + | 0.35/57* | + | | $10^{12}$ | $10^{12}$ | 0.35 |
| 瓷釉覆盖CIC芯板** | | 7 | + | 0.06/57* | + | 6.8 | $10^{11}$ | $10^{13}$ | 000 |
| 环氧/氧化铝芯板 | 125 | 15 | + | 0.16/203* | | | $10^{11}$ | $10^{13}$ | 0.10 |

注：1. 表中数值仅作比较用，不能作精确的工程计算用。

2. 抗挠强度单位为1kpsi指千磅/英寸$^2$，1kpsi＝70.3kg/cm$^2$。

* 由表面覆盖层和芯板材料确定。

**CIC指铜—殷钢—铜20/50/20（厚度比）。

＋ 由芯板和表面层的比例决定。

的性能。其中玻璃的转变温度*Ty*和热膨胀系数*CTE*是重要的参数。一般，*Ty*必须大于电路工作温度和生产工业中的最高温度，*CTE*则应尽量小和一致。表3-4则表示电路要求和基板材料性能之间的关系。

**表3-4　电路要求和基板材料性能**

| 电路要求 | 材料性能 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 玻璃转变温度 | 热膨胀系数 | 热导性 | 拉伸模量 | 抗弯模量 | 介电常数 | 体电阻 | 表面电阻 | 吸潮性 |
| 温度和功率循环 | × | × | × | × | | | | | |
| 振动 | | | | × | × | | | | |
| 机械冲击 | | | | × | × | | | | |
| 温度和湿度 | × | × | | | | × | × | × | × |
| 功率密度 | × | | × | | | | | | |
| 片式载体 | | × | | × | | | | | |
| 电路密度 | | | | | | × | × | × | |
| 电路速度 | | | | | | × | × | × | |

×表示具有相关性。

**1. 陶瓷基板材料**

陶瓷电路基板的基板材料是96%的氧化铝，在基板强度要求很高的情况下，可采用99%的纯氧化铝材料。但高纯氧化铝的加工困难，成品率低，所以用纯氧化铝的价格高。氧化铍也是陶瓷基板的材料，它是金属氧化物，具有良好的电绝缘性能和优异的热导性，可用作高功率密度电路的基板，但在加工过程中生成的粉尘对人体是有害的。

陶瓷电路基板主要用于厚膜、薄膜混合集成电路和多芯片微组电路中，它具有有机材料电路基板无法比拟的优点。例如，陶瓷电路基板的CTE可以和LCCC外壳的CET相匹配，故组装LCCC器件时将获得良好的焊点可靠性。另外，陶瓷基板即使在加热的情况下，也不会放出大量吸附的气体造成真空度的下降，故适用于真空蒸发工艺。此外，陶瓷基板还具有耐高温、表面光洁度好、化学稳定性高的特点，是薄膜、厚膜混合电路和多芯片微组装电路基板。但它难以加工成大而平的基板，且无法制作成多块组合在一起的邮票板结构，来适应自动化生产的需要。另外，对陶瓷材料来说，其介电常数偏高因此也不适合作高速电路基板，而且其价格也是一般SMT所不能承受的。

**2. 环氧玻璃纤维电路基板**

这种电路基板由环氧树脂和玻璃纤维组成，它结合了玻璃纤维强度好和环氧树脂韧性好的优点，故具有良好的强度和延展性，它有单面、双面和多层之分。

环氧玻璃纤维电路基板在制作时，先将环氧树脂渗透到玻璃纤维布中制成层

板。同时，还加入其他化学物品，如固化剂、稳定剂、防燃剂、粘合剂等。在层板的单面或双面粘压铜箔制成覆铜的环氧玻璃纤维层板作为印制电路板的原材料。

目前常用的层板类型如下：

（1）G-10和G-11层板

它们是环氧玻璃纤维层板，不含有阻燃剂，可以用钻床钻孔，但不允许用冲床冲孔。G-10的性能和FR-4层板极其相似，而G-11则可耐更高的工作温度。

（2）FR-2、FR-3、FR-4、FR-5和FR-6层板

它们都含有阻燃剂，因而被命名为“FR”。

① FR-2层板　它的性能类似于XXXPC，是纸基酚醛树脂层板，只能用冲床冲孔，而不可以用钻床钻孔。

② FR-3层板　是纸基环氧树脂层板，可在室温下冲孔。

③ FR-4层板　是环氧玻璃纤维层板，它和G-10层板的性能极其相似，具有良好的电性能和加工特性，并具有可取的性能价格比，可制作多层板。它被广泛地应用于工业产品中。

④ FR-5层板　它和FR-4的性能相似，但可在更高的温度下保持良好的强度和电性能。

⑤ FR-6层板　它是聚酯树脂玻璃纤维层板。

上述层板中，常用的G-10和FR-4适用于多层印制电路板，价格相对便宜，并可采用钻床钻孔工艺，容易实现自动化生产。

（3）非环氧树脂的层板

① 聚酰亚胺树脂玻璃纤维层板　它可作为刚性或柔性电路基板材料，在高温下它的强度和稳定性都优于FR-4层板，常用于高可靠的军用产品中。

② GX和GT层板　它们是聚四氟乙烯玻璃纤维层板，这些材料的介电性能是可以控制的，可用于介电常数要求严格的产品中，而GX的介电性能优于GT，可用于高频电路中。

③ XXXP和XXXPC层板　它们是酚醛树脂纸基层板，只能冲孔不能钻孔，这些层板仅用于单面和双面印制电路板，而不能作为多层印制电路板的原材料。因为它们的价格便宜，所以在民用电子产品中广泛将它们作为电路基板材料。

对每种层板来说，它们都具有各自的最高连续工作温度，如果工作温度超过这个温度值，层板的电、机械性能都要大幅度恶化，甚至影响组装件的功能。表3-5列出了常用电路基板材料的最高连续温度。从表中可以看出聚酰亚胺的最高连续工作温度最高，它属于高温层板类。

表3-5　层板的最高连续温度

| 层板类型 | 最高连续温度/°C | 层板类型 | 最高连续温度/°C |
|---|---|---|---|
| XXXP | 125 | FR-4 | 130 |
| XXXPC | 125 | FR-5 | 170* |
| G-10 | 130 | FR-6 | 105 |
| G-11 | 170* | 聚酸亚胺 | 260 |
| FR-2 | 105 | GT | 220 |
| FR-3 | 105 | GX | 220 |

* 170°C以上电性能下降，180°C时机械性能下降。

### 3. 组合结构的电路基板

(1) 瓷釉覆盖的钢基板

瓷釉覆盖的钢基板可以克服陶瓷基板存在的外形尺寸受限制和介电常数高的缺点，已开始用于某些照相机的批量生产中。瓷釉覆盖的钢基板的热膨胀系数CET仍然较高，约为13ppm/°C,它和LCCC的CTE不匹配，不适合作为LCCC的组装基板。因而最近又开发出瓷釉覆盖铜－殷钢的电路基板，它的CTE可以调整得和LCCC的CTE相匹配，而且介电常数也低，可作为高速电路的基板。

(2) 金属板支撑的薄电路基板

这种基板采用一般电路板的制造工艺，把双面覆铜的极薄的电路板粘贴在金属支撑板上，也可在金属支撑板的两面都贴上双面覆铜电路板。两个面上的电路板可以分别制作两个独立的电路，或同一个电路制作在两个面上。支撑板可作为接地和散热用，实际上相当于多层电路板的作用，见图3-1。薄电路板可用环氧玻璃纤维双面覆铜板、聚酰亚胺玻璃纤维双面覆铜板或其他有机基板。基板厚度约为0.13mm，但因为它贴在支撑板上，所以增强了机械支撑作用，这样可以保持尺寸的稳定性，故采用常规印制电路板工艺就可得到细小直径互连通孔的高密度布线图形。




图3-1　金属板支撑的薄电路

(3) 柔性层结构的电路基板

柔性层是指将多片未加固（不加玻璃纤维或其他纤维）的树脂片层压而成的树脂层。它可以吸收焊点的部分应力，提高焊点的可靠性。树脂片的厚度约为0.05mm。柔性层越厚则焊点应力越小。其结构见图3-2。

(4) 约束芯板结构的电路基板

这种结构的电路基板主要用于高可靠的军事产品中，作为表面组装电路板组装全密封的LCCC器件用。约束芯板有金属的和非金属的，有导电的和绝缘的。

1) 金属的约束芯板结构

有铜/殷钢/铜或铜/钼/铜等约束芯板。铜/殷钢/铜约束芯板首先由美国德州仪器公司采用，它是由铜、殷钢、铜三层金属组成的“三明治”结构，简称CIC（如图3-3所示）。殷钢是一种铁镍合金，它的热膨胀系数（CTE）接近于零。CIC约束芯板的CTE是可以调整的，因为铜的CTE远高于殷钢，所以改变铜箔和殷钢箔间的相对厚度比就可以改变约束芯板的CTE。由于约束芯板和有机基板粘合在一起，因而整个电路基板的CTE就受到CIC约束芯板的CTE控制。

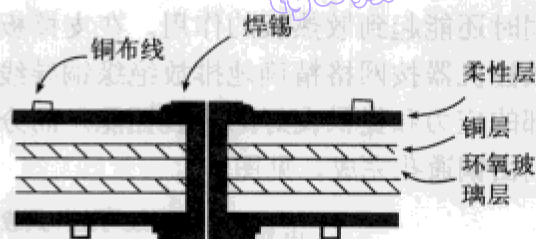



图3-2 柔性层基板结构

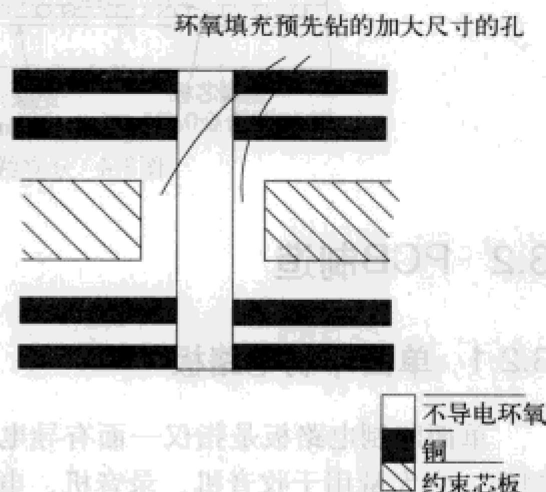



图3-3 具有约束芯板的多层电路结构

通过试验发现，采用8%铜–84%殷钢–8%铜约束芯板的电路板组装无引脚陶瓷芯片载体LCCC可得到良好的焊点可靠性，因为这种芯板的CTE和LCCC的CTE极其匹配。据有关资料报导，在CIC约束芯板的电路板上组装20～84引出端的无引脚陶瓷芯片载体，经过温度范围−50°C～+125°C的温度循环试验共1500次，测试未发现有焊点失效现象。这样的芯板既可作为电路的接地和电源板，又可作为散热器，同时还能起到防干扰的作用。但CIC约束芯板的电路板也存在一些问题，如金属芯板和环氧玻璃纤维之间容易出现分层现象，且电路板的通孔容易开裂等。

2）非金属的约束芯板结构

石墨是一种很好的约束芯板材料，它的热膨胀系数和陶瓷芯片载体的热膨胀系数很匹配。它的热导性好，重量轻，可作为电路的接地板和电源板以及散热板。同时因为它的重量轻，因此在航天技术中得到了广泛应用。但石墨约束芯板电路板最大的弱点是容易产生裂痕，造成环氧板和石墨板间的分层，从而引起电路基板的热膨胀系数的漂移。因此，石墨约束芯板逐渐被铜/殷钢/铜基板所取代。

非金属约束芯板也可采用绝缘材料来制作，如石英纤维或aramid纤维，aramid是一种强度高、密度低和模量高的加固材料。采用绝缘约束芯板代替导电约束芯板，在芯板钻孔后则可免去用树脂填充通孔的工艺。

（5）分立线结构的电路基板

这种结构的电路基板为组装电路提供良好的高速性能，而且可以实现高密度表面组装。其结构是采用金属支撑板以便和无引脚陶瓷芯片载体的CTE相匹配，

同时还能起到散热板的作用。在支撑板的表面粘合有绝缘层，在绝缘层的上方用数控机器按网格精确地排放绝缘铜导线，用柔性树脂把铜导线包好，可以吸收局部的应力和提供良好的防震性能。而分立的绝缘铜导线和电路板表面元件的连接则由铜通孔完成，见图3-4。

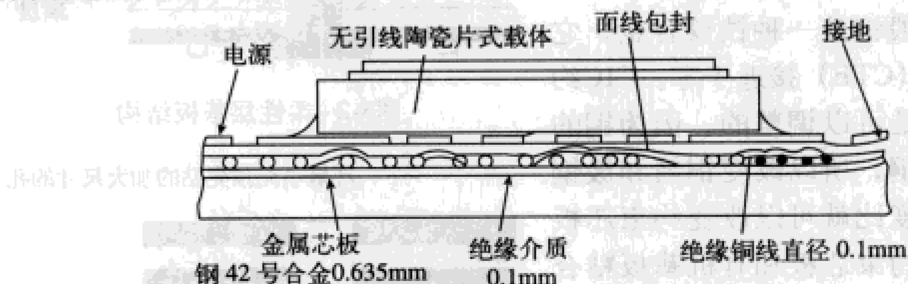



图3-4 分立线结构的电路基板

## 3.2 PCB制造

### 3.2.1 单面印制电路板

单面印制电路板是指仅一面有导电图形的印制电路板，一般用酚醛基覆箔板制作。它大量用于收音机、录音机、电视机、玩具等各种消费类电子产品中。其典型制造工艺流程如下：

单面覆铜箔板→下料→冲、钻基准孔→刷洗→干燥→网印抗蚀图形→固化→蚀刻去膜→干燥→刷洗→干燥→网印阻焊图形→固化→网印标记字符→固化→网印反面标记字符→固化→预热→冲孔→外形加工→电气性能测试→清洗→干燥→预涂助焊剂干燥→检验→包装→成品。

单面印制电路板制造的关键工艺简述如下。

**1. 照相底版**

制备照相底版是印制电路板生产中的关键步骤，其质量直接影响到最终产品的质量。现在一般都用计算机辅助设计直接在光绘仪上绘制出照相底版。

一块单面印制电路板一般要有三种照相底图：① 导电图形底图；② 阻焊图形底图；③ 标记字符底图。

光绘仪完成银盐底片的曝光，随后还需在暗室中冲洗加工才能得到照相底版。

也可使用金属膜胶片直接成像制得照相底版。由于此胶片对日光不敏感，不需暗室冲洗，因而尺寸稳定性优良，最小线宽可做到0.05mm，精度＜2μm。

**2. 丝网印刷**

丝网印刷是单面印制电路板的关键工艺。它使用专门的印料，在覆铜箔板上网印出线路图形、阻焊图形及字符标记图形，所使用的丝网印刷设备从最简单的

手工操作的网印框架到高精度、上下料全自动化的网印生产线，有不同的档次和不同的规格。

**3. 蚀刻**

用作单面印制电路板蚀刻的蚀刻液必须能蚀刻铜而不损伤和破坏网印油墨。由于网印油墨通常能溶于碱性溶液，因此蚀刻时不能使用碱性蚀刻液。早期的蚀刻液大多使用三氯化铁，因为它价格便宜、蚀刻速率快、工艺稳定、操作简单。但由于再生和回收困难，冲洗稀释后易产生黄褐色沉淀，污染严重，因此已被酸性氯化铜蚀刻液所替代。

蚀刻操作广泛使用传送带式自动喷淋蚀刻机。它可上下两面同时蚀刻，并有自动分析补加装置，使蚀刻液自动连续再生，保持蚀刻速率的恒定。

**4. 机械加工**

机械加工包括覆铜箔板的下料，孔加工和外形加工。其加工方式有剪、冲、钻和铣。

**5. 预涂助焊剂**

单面印制电路板在丝网印刷阻焊油墨并经电气检测后的最后一道主要工序是预涂助焊剂。在存放中，单面印制电路板的铜导线表面受空气和湿气的影响，表面易氧化变色，使可焊性变差。为了保护洁净的铜表面不受大气的氧化腐蚀，使成品板在规定的储存期内保持优良的可焊性，故必须对单面印制电路板的铜表面涂覆保护性的预涂助焊剂。它除了有助焊性，还具有防护性，但要求锡焊后易清洗去除。

### 3.2.2 双面印制电路板

双面印制电路板是指两面上都有导电图形的印制电路板。它通常采用环氧玻璃布覆铜箔板制造。主要用在性能要求较高的通信电子设备、高级仪器仪表及电子计算机等。近年来，制造双面镀覆孔印制电路板的典型工艺是SMOBC，其工艺过程如下：

双面覆铜箔板→蚀刻→退锡铅→电气通断检测→清洗→阻焊图形→插头镀镍镀金→插头贴胶带→热风平整→清洗→网印字符标记→外形加工→清洗干燥→检验→包装→成品。

或者是：双面覆铜箔板→钻孔→化学镀铜→板电镀铜→堵孔→网印成像（正像）→蚀刻→去网印料和去堵孔油墨→清洗→阻焊图形→插头镀镍镀金→插头贴胶带→热风平整→清洗→网印字符标记→外形加工→清洗干燥→检验→包装→成品。

在双面镀覆孔印制电路板和多层印制电路板的制造过程中，有很多工序是相同的，在此一起加以叙述，在多层板一节中就不再重复。

**1. 数控钻孔**

由于表面组装技术的发展，印制电路板上的镀覆孔不再插装电子元器件，仅作导通用。而为了提高组装密度，孔变得越来越小，故加工时常采用新一代的钻微小孔的数控钻床。这种数控钻床的钻速为（11~15）万转/min。可钻φ0.1mm~φ0.5mm的孔。钻头断了会自动停机并报警，自动更换钻头和测量钻头直径，自动控制钻头与盖板间恒定的距离和钻孔深度，因而可钻盲孔。

**2. 镀覆孔工艺**

镀覆孔（PTH），习惯上也称为金属化孔。它是将整个孔壁镀覆金属，使双面印制电路板的两面或多层印制电路板的内外层间的导电图形实现电气连通。镀覆孔工艺传统上采用化学镀铜使孔壁沉积一薄层铜，再电镀铜加厚到规定的厚度。现在已研究出一些新的镀覆孔工艺，如不用化学镀铜的直接电镀工艺等。

**3. 成像**

丝网印刷法成像也可用于制作双面PCB，它成本低，适合于大批量生产，但难于制作0.2mm以下的精细导线和细间距的双面PCB。除了使用网印法外，在20世纪50年代、60年代广泛使用的是聚乙烯醇/重铬酸盐型液体光致抗蚀剂。1968年美国杜邦公司推出干膜光致抗蚀剂（简称干膜）后，在20世纪70年代、80年代干膜成像工艺就成为双面PCB成像的主导工艺。近年来，由于新型液态光致抗蚀剂的发展，它比干膜的分辨率高，且液态光致抗蚀剂的涂覆设备已能实现连续大规模生产，成本又较干膜便宜，因此液态光致抗蚀剂又有卷土重来的趋势。

干膜成像的工艺流程如下：

贴膜前处理→贴膜→曝光→显影→修板→蚀刻或电镀→去膜。

前处理用磨料尼龙辊刷板机或浮石粉刷板机进行刷板，经前处理的板材用贴膜机进行双面连续贴膜。贴膜的主要工艺参数为：温度、压力和速度。

经电镀或蚀刻后，干膜需除去。去膜一般用4%~5%氢氧化钠溶液，在40°C~60°C下于喷淋式去膜机中进行。去膜后用水彻底清洗后，进入下个工序。

**4. 电镀锡铅合金**

用图形电镀蚀刻法生产双面PCB时，电镀锡铅合金有两个作用：一是作为蚀刻时的抗蚀保护层；二是作为成品板的可焊性镀层。作为可焊性镀层对镀层中锡铅比例以及合金的组织结构状态都有要求。但在SMOBC工艺中，锡铅电镀层仅作为蚀刻保护层。在这种情况下，对锡铅比例的要求是不高的。由于60%的锡和37%的铅具有最低共熔点，故锡含量在58%~68%的范围内可以满足要求。为此必须严格控制镀液和工艺条件。锡铅合金镀层厚度在板面上应在8μm以上，孔壁不小于2.5μm。

**5. 蚀刻**

蚀刻是用化学或电化学方法去除基材上无用导电材料形成印制图形的工艺。

侧蚀是因蚀刻而产生的导线边缘凹进或挖空现象（如图3-5所示）。它和蚀刻

液、设备和工艺条件有关。生产者希望侧蚀越小越好。采用薄铜箔可减小侧蚀值，有利于制造精细导线图形。

镀层增宽是由于电镀加厚使导线一侧宽度超过生产底版宽度的值。镀层突沿是镀层增宽和侧蚀之和。它不仅影响图形精度，而且极易断裂和掉落，造成电路短路。经热熔后可以消除镀层突沿。

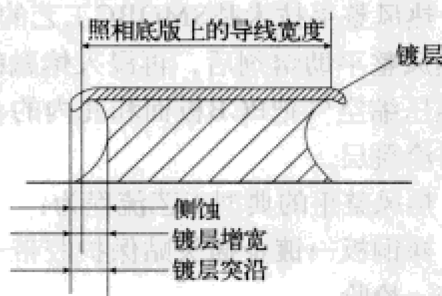


图3-5 侧蚀、镀层增宽和镀层突沿

蚀刻系数是蚀刻深度（导线厚度）与侧蚀之比值。生产者希望侧蚀小，特别是在制造细导线时。采用垂直喷射蚀刻方式，或添加侧向保护剂可提高蚀刻系数。

在用锡铅合金作抗蚀层的图形电镀蚀刻法制造双面PCB时，不能使用酸性氯化铜蚀刻液，也不能使用三氯化铁蚀刻液，因为它们也腐蚀锡铅合金。可以使用的蚀刻液有：碱性氯化铜蚀刻液，硫酸双氧水蚀刻液，过硫酸铵蚀刻液和硫酸铬酸蚀刻液。其中使用最多的是碱性氯化铜蚀刻液。硫酸铬酸蚀刻液因铬酸有害健康，已不再用来蚀刻PCB。

### 6. 镀金

金镀层有优良的导电性，接触电阻小且稳定，耐磨性优良，是PCB插头的最佳镀层材料。它还有优良的化学稳定性和可焊性，在表面组装PCB上，也用作抗蚀、可焊和保护镀层。由于金价格很贵，一般为节约成本，尽量镀得较薄，特别全板镀金PCB，一般都采用闪镀金或化学镀金，俗称镀“水金”，其厚度不到0.1μm，只有0.05μm左右。但插头部分的金镀层需较厚，按照不同的要求，厚度规定为0.5μm~2.5μm。如果铜上直接镀金，则由于金镀层薄，镀层有较多的针孔，在长期使用或存放过程中，通过针孔铜会被锈蚀，此外铜和金之间扩散生成金属化合物后容易使焊点变脆，造成焊接不可靠。因此镀金前均需用镀镍层打底。镀镍层厚度一般控制在5μm~7μm。

插头镀镍镀金的工艺过程为：

贴保护胶带→退锡铅→水洗→微蚀或刷洗→水洗→活化→水洗→镀镍→水洗→活化→水洗→镀金→水洗→干燥→去胶带→检验。

贴压敏性保护胶带是为了保护PCB不需镀镍镀金部分的导体不被退除锡铅和镀上镍和金。

镀金溶液有碱性氰化物镀液、无氰亚硫酸盐镀液、柠檬酸盐镀液等。PCB插头镀金普遍使用的是柠檬酸盐微氰镀金液。

### 7. 热熔和热风平整

把镀覆锡铅合金的PCB，加热到锡铅合金的熔点温度以上，使锡铅和基体金

属铜形成金属化合物，同时使锡铅镀层变得致密、光亮、无针孔，并提高了镀层的抗腐蚀性和可焊性。这就是PCB的热熔过程。常用的是甘油热熔和红外热熔。

热风整平技术是SMOBC工艺的主要工序。其过程为：已涂覆阻焊剂的PCB经过热风整平助熔剂后，再浸入熔融的焊料槽中，然后从两个风刀间通过，风刀间的热压缩空气把PCB板面和孔内的多余焊料吹掉，得到一个光亮、均匀、平滑的焊料涂覆层。

热风整平的典型工艺流程为：

裸铜板→镀金插头贴保护胶带→前处理→涂覆助熔剂→热风平整→清洗→去胶带→检验。

前处理包括去油、清洗、弱蚀、水洗和干燥等步骤，以得到一个无油污、无氧化层、洁净而微粗化的表面。

热风整平的主要工艺参数有：焊料温度、浸焊时间、风力和PCB的夹角、风刀的间隙、热空气的温度、压力和流速、预热时间和温度、PCB提升速度等。其焊料槽温度一般控制在230°C~235°C，风刀温度控制在1776°C以上，浸焊时间控制在5~8s，涂覆层厚度控制在6μm~10μm。

### 3.2.3 多层PCB

多层PCB（简称多层板）是由交替的导电图形层及绝缘材料层压粘合而成的一块PCB。导电图形的层数在两层以上，层间电气互连是通过金属化孔实现的。多层PCB一般用环氧玻璃布覆铜箔层压板，是PCB中的高科技产品，其生产技术是PCB工业中最有影响和最具生命力的技术，它广泛使用于军用电子设备中。

多层板的制造工艺是在镀覆孔双面板的工艺基础上发展起来的。它的一般工艺流程都是先将内层板的图形蚀刻好，经黑化处理后，按预定的设计加入半固化片进行叠层，上下表面各放一张铜箔（也可用薄覆铜板，但成本较高），送进压机经加热加压后，得到已制备好内层图形的一块“双面覆铜板”，然后按预先设计的定位系统，进行数控钻孔。钻孔后要对孔壁进行凹蚀处理和去钻污处理，然后就可按双面镀覆孔PCB的工艺进行下去。

对比一般多层板和双面板的生产工艺，可知它们有很大部分是相同的。主要的不同是多层板增加了几个特有工艺步骤：内层成像和黑化、定位和层压以及去污。这些特有的工艺将在下面叙述。在大部分相同的工艺中，某些工艺参数、设备精度和复杂程度也有所不同。如多层板的内层金属化连接是多层板可靠性的决定性因素，对孔壁的质量要求比双层板要严，因此对钻孔的要求就更高了。一般，一只钻头在双面板上可钻3000个孔后再更换，而多层板只钻80~1000个孔就要更换。另外每次钻孔的叠板数、钻孔时钻头的转速和进给量都和双面板有所不同。多层板成品和半成品的检验也比双面板要严格和复杂得多。多层板由于结构复杂，采用温度均匀的

甘油热熔工艺，而不采用可能导致局部温升过高的红外热熔工艺等等。

薄覆铜箔板和半固化片是多层板的专用材料。

一般把厚度小于0.8mm的覆铜箔板称为薄覆铜箔板，其标称厚度不包括铜箔厚度。而大于0.8mm的覆铜箔板的厚度则包括铜箔厚度在内。薄覆铜箔板和一般覆铜箔板的性能要求大都相同，只是在厚度、尺寸稳定性、树脂含量等几个指标上更严。

用纤维增强材料浸渍热固性树脂后固化至B阶段的片状材料称作预浸材料。

半固化片是具有一定黏结性能的预浸材料或其他胶膜材料，也称黏结片、B阶段黏结片等，用作多层板层间的黏结。刚性多层板广泛使用的玻璃布预浸材料也可称作黏结片或半固化片。其制备三阶段如图3-6所示。

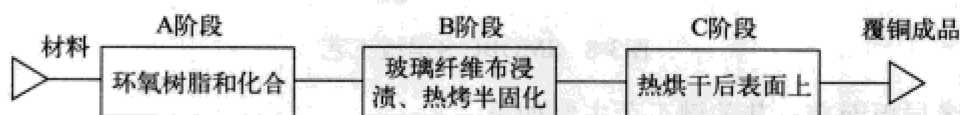



图3-6 原材料制备三阶段

多层板的制造工艺有多种方法。其中最主要的有两种：一种是把阻焊膜直接覆盖在有锡铅合金层的电路图形上（如图3-7所示）。另一种是将阻焊膜覆盖在裸铜电路图形上（SMOBC）（如图3-8所示，其中前面部分工序与图3-7相同）。

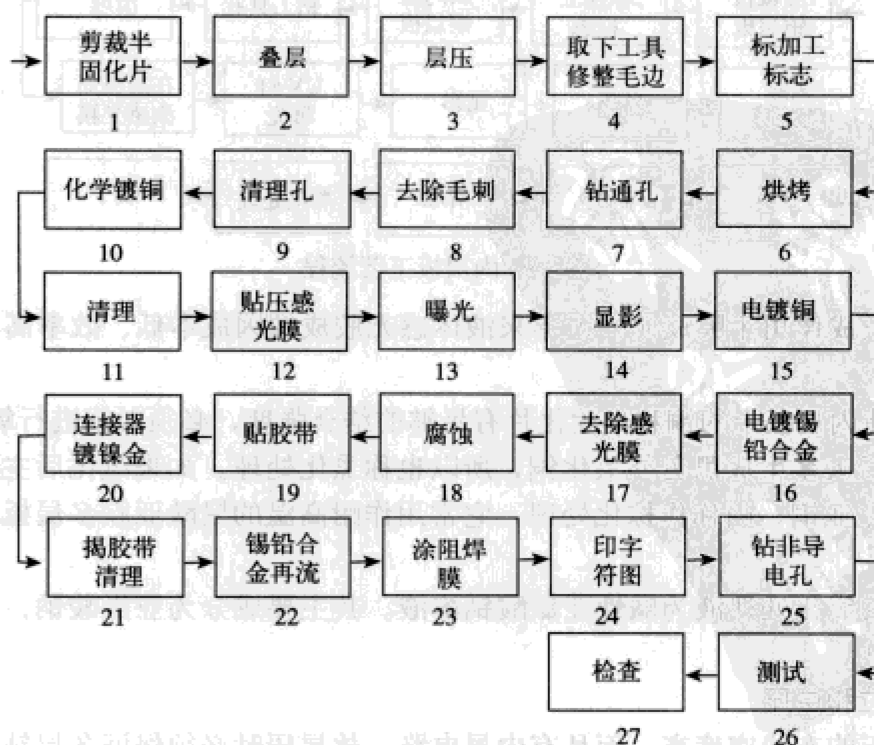



图3-7 在锡层上涂阻焊膜的多层板工艺

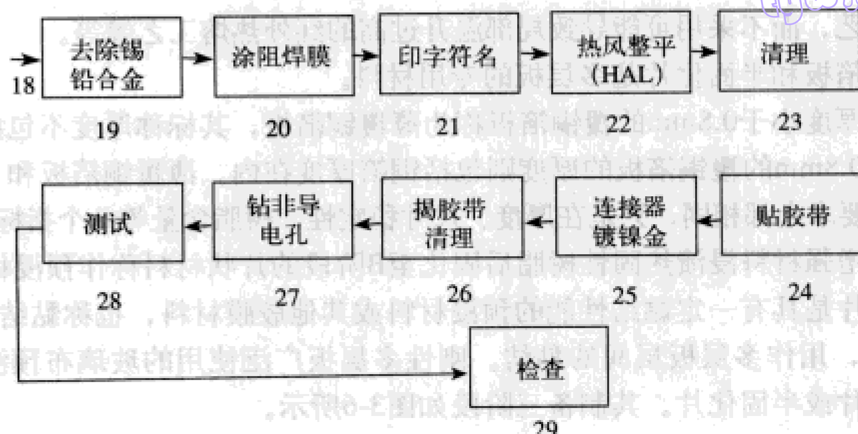



图3-8 SMOBC多层板工艺

对多层板而言，其关键工艺主要如下。

**1. 内层成像和黑化处理**

由于集成电路的互连布线密度空前提高，用单面板、双面板都难以实现，而用多层板则可以把电源线、接地线以及部分互连线放置在内层板上，由电镀通孔完成各层间的相互连接。内层板的工艺流程如图3-9所示。

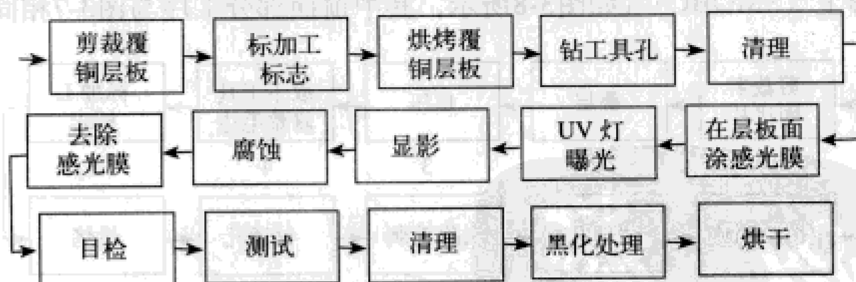



图3-9 内层板工艺流程

内层板成像用干膜成像。近年来液体感光胶成像因成本低、效率高而逐渐替代干膜成像。

为了使内层板上的铜和半固化片有足够的结合强度，必须对铜进行氧化处理。由于处理后大多生成黑色的氧化铜，所以也称黑化处理。如果氧化后主要生成红棕色的氧化亚铜，则称作棕化处理，它常用作耐高温的聚酰亚胺多层板内层板的氧化处理。

常用的氧化处理液为碱性亚氯酸钠溶液。其主要成分为亚氯酸钠、氢氧化钠和磷酸三钠。

**2. 定位和层压**

多层板的布线密度高，而且有内层电路，故层压时必须保证各层钻孔位置均对准。其定位方法有销钉定位和无销钉定位两种。

无销钉层压定位是现在较普遍采用的定位方法，特别是四层板的生产几乎都

采用它。该方法中的层压模板不必有定位孔，工艺简单、设备投资少、材料利用率较高、成本低。以四层板为例，操作时在制好图形的内层板上先钻出孔，层压前用耐高温胶带将其封住，层压后，在胶带处有明显的凸起迹象，洗去胶带上铜箔和固化的黏结片，剥去胶带，露出孔作钻孔用。这种方法不但可作四层板，亦可作6~10层板。

如采用X光自动对位钻靶机，利用在多层板各内层上预设的2~3个靶标，由OPL视觉系统把其中两个靶标的中心位置和设计的标准点自动比较，对各层偏差进行优化处理，找到最佳位置，再优化钻出定位孔。如果靶标之间超差，则会自动拒绝钻孔。显然，使用它可提高制作精度。

当然，层压前需根据设计和工艺要求将内层板、半固化片、外层铜箔和离型薄膜进行叠层，然后在加温加压下固化成型。图3-10为八层板的叠层示意图。

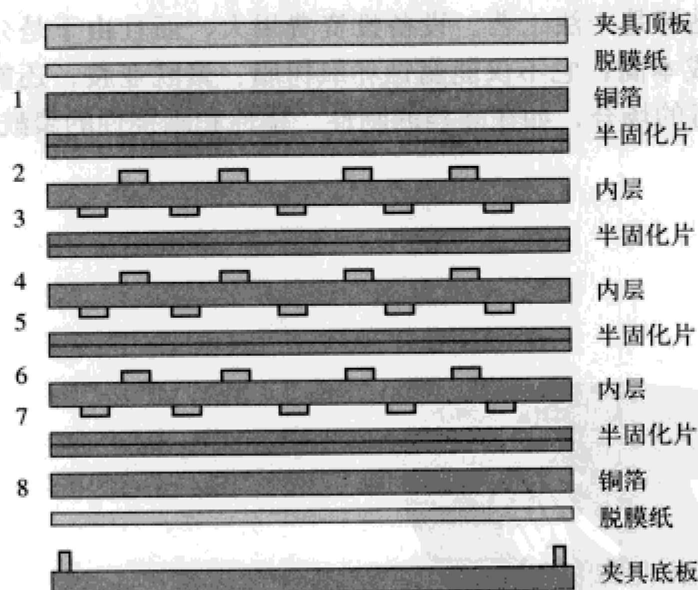



图3-10 八层板叠层示意图

最近，人们推出了用电流直接通过叠层表面的铜箔进行加热的方法。此法加热均匀、成本低、效率高、层压质量好。

层压时，层压周期是影响层压质量的关键。一般，层压全过程包括预压、全压和保压冷却三个阶段。

**3. 去钻污**

多层板在化学镀铜前必须进行去钻污处理。

在去除附在孔壁上的环氧钻污的同时，为了充分暴露内层铜环表面，而有控制地去除孔壁的环氧树脂和玻璃布到规定深度，这样整个的工艺就称为凹蚀。见图3-11。

去除环氧钻污一般有四种方法：

① 浓硫酸法；

② 铬酸法；

③ 碱性高锰酸钾法；

④ 等离子体法。

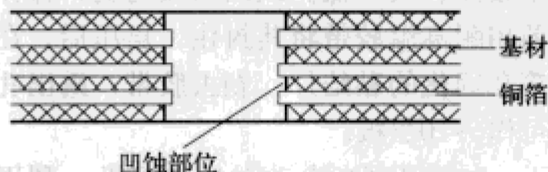



图3-11 凹蚀示意图

前三种均为湿法处理工艺。由于硫酸和铬酸都是强氧化剂，操作时酸雾大，环境恶劣，三废处理费用大，铬酸毒性大，而且两种酸都易浸蚀内层铜箔上的氧化层，产生“粉红圈”现象。另外，硫酸和铬酸的处理时间如过长，则会使玻璃纤维显露，树脂和玻璃纤维间产生毛细管通路，使以后的镀液侵入，造成绝缘破坏。因此它们逐渐被碱性高锰酸钾体系所替代。

等离子体去钻污是干法工艺。设备投资费用大，而且由于是分批间歇操作，故效率低，生产成本高；它不仅能腐蚀环氧树脂、聚酰亚胺，还能腐蚀玻璃布。因此只在非用不可的场合，如在高档的刚性、挠性和刚挠性的聚酰亚胺多层板中应用。

# 第4章　表面组装材料

在SMT的发展过程中，电子化工材料起着相当重要的作用。与SMT相关的化工材料种类繁多，其中有用于PCB制造的各种基材、阻焊油墨、预涂焊剂、热风整平助熔剂等，还有用于元器件和集成电路生产的光刻胶、高纯试剂和气体以及各类封装材料等。而表面组装材料则是指SMT组装中所用的化工材料，即SMT工艺材料。它主要包括以下几方面的内容：贴装胶及其他黏结剂、焊剂、焊料及防氧化油、焊膏和清洗剂。

组装材料是进行表面组装工艺的基础。在不同的组装工序中应采用不同的组装材料。有时在同一组装工序中，由于后续工艺或组装方式不同，所用材料也有所不同，如表4-1所示。

**表4-1　表面贴装材料**

| 组装工序 \ 工艺 | 波峰焊接 | 再流焊接 | 手工焊接 |
|---|---|---|---|
| 贴装 | 黏结剂 | 焊膏、（黏结剂） | 黏结剂、选用 |
| 焊接 | 焊剂棒状焊料 | 焊剂　焊膏<br>预成型焊料 | 焊剂　焊丝 |
| 清洗 | 各种溶剂 | | |

## 4.1　贴装胶

SMT的工艺过程涉及多种黏结剂材料，如固定片式元器件的贴装胶、对线圈和部分元器件起定位作用的密封胶、临时黏结表面组装元器件的插件胶等，这些黏结剂主要是起黏结、定位或密封作用。此外，还有一些具有特殊性能的黏结剂，如导电胶，它能代替焊料在装联过程中起焊接作用。

在上述黏结剂中，对SMT工艺过程最重要的是贴装胶（贴片胶），它主要与波峰焊工艺相配合，在波峰焊前，把表面组装元件暂时固定在PCB的相应焊盘图形上，以免波峰焊时引起元件的偏移。

### 4.1.1　贴装胶的化学组成

表面组装贴装胶通常由基体树脂、固化剂和固化促进剂、增韧剂和填料组成。

（1）基体树脂——是贴装胶的核心。一般用环氧树脂和丙烯酸酯类聚合物。

近年来也用聚氨酯、聚酯、有机硅聚合物以及环氧树脂—丙烯酸酯类共聚物。

（2）固化剂和固化促进剂——常用的固化剂和固化促进剂为双氰胺、三氟化硼—胺络合物、咪唑类衍生物、酰胺、三嗪和三元酸酰肼等。

（3）增韧剂——由于单纯的基体树脂固化后较脆，为弥补这一缺陷，需在配方中加入增韧剂。常用的增韧剂有邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、液体丁晴橡胶和聚硫橡胶等。

（4）填料——加入填料后可提高贴装胶的电绝缘性能和耐高温性能，还可使贴装胶获得合适的黏度和黏结强度等等。常用的填料有硅微粉、碳酸钙、膨润土、白碳黑、硅藻土、钛白粉、铁红和碳黑等。

## 4.1.2　贴装胶的分类

（1）按基体材料分，有环氧树脂和聚丙烯两大类。

环氧树脂是最老的和用途最广的热固型、高黏度的贴装胶，常用双组份。聚丙烯贴装胶则常用单组份，由于它常用短时间紫外线固化故也属热固型。

（2）按功能分，有结构型、非结构型和密封型。

结构型具有高的机械强度，用来把两种材料永久地黏结在一起，并能在一定的荷重下使它们牢固地接合。非结构型用来暂时固定具有不大荷重的物体，如把SMD黏结在PCB上，以便进行波峰焊接。密封型用来黏结两种不受荷重的物体，用于缝隙填充、密封或封装等目的。前两种黏结剂在固化状态下是硬的，而密封型黏结剂通常是软的。

（3）按化学性质分，有热固型、热塑型、弹性型和合成型。

热固型黏结剂固化之后再加热也不会软化，不能重新建立黏结连接。热固型又可分单组份和双组份两类。所谓单组份指树脂和固化剂包装时已经混合。它使用方便，质量稳定，但要求存放在冷冻条件下，以免固化。双组份的树脂和固化剂分别包装，使用时才混合，但保存条件不苛刻，不过使用时的配比常常不准，影响性能。热固型可用于把SMD黏结在PCB上，主要有环氧树脂、晴基丙烯酸酯、聚丙烯和聚酯。

热塑型可以重新软化，重新形成新的黏结剂。它是单组份系统，因高温冷却而硬化或因溶剂蒸发而硬化。

弹性黏结剂是具有较大延伸率的材料，可由合成或天然聚合物用溶剂配制而成，呈乳状。如尿烷、硅树脂和天然橡胶等。

合成黏结剂由热固型、热塑型和弹性型黏结剂组合配制而成。它利用了每种材料的最有用的性能。如环氧－尼龙、环氧聚硫化物和乙烯基－酚醛塑料等。

（4）按使用方法分，有针式、注射式、丝网漏印等方式的贴装胶。

典型贴装胶的特性见表4-2。

表4-2 典型表面粘装胶的特性

| 性 能 | （日）TM Bond A 2450 | （美）Amicon930-12-4F | （国产）MG-1 | （美）MR8153RA** |
|---|---|---|---|---|
| 颜色 | 红 | 黄 | 红 | 红 |
| 黏度/Pa · s | 120±40 | 70~90 | 100~130* | |
| 体积电阻率/ · cm | $>1\times10^{13}$ | $1\times10^{13}$ | $>1\times10^{13}$ | $1\times10^{13}$ |
| 触变指数 | 4±1 | >3.5 | >3 | |
| 剪切强度/MPa | >6 | >6 | 10 | 8.5 |
| 固化 | 150°C 20min | 120°C 10min | 150°C 20min | 150°C 2~3min |
| 40°C储存期/天 | >2 | | >5 | |
| 25°C储存期/天 | >30 | | >30 | 60 |
| 冷藏储存期 | <5°C 6个月 | 0°C 3个月 | <5°C 6个月 | 5°C 6个月 |

* 可根据用户需要在此范围内选择黏度。

** MR8153RA属于丙烯酸树脂，其他均为环氧树脂。

### 4.1.3 表面组装对贴装胶的要求

为了确保表面组装的可靠性，对贴装胶提出以下要求。

（1）常温使用寿命要长。

（2）合适的黏度。贴装胶的黏度应能满足不同施胶方式、不同设备、不同施胶温度的需要。胶滴时不应拉丝；涂敷后能保持足够的高度，而不形成太大的胶底；涂敷后到固化前胶滴不应漫流，以免流到焊接部位，影响焊接质量。

（3）快速固化。贴装胶应在尽可能低的温度下，以最快的速度固化。这样可以避免PCB翘曲和元器件的损伤，也可避免焊盘氧化。

（4）黏结强度适当。贴装胶在焊前应能有效地固定片式元器件，检修时应便于更换不合格的元器件。贴装胶的剪切强度通常为4MPa～10MPa。

（5）其他。在固化后和焊接中应无气析；应能与后续工艺中的化学制剂相容而不发生化学反应；不干扰电路功能；有颜色，便于检查。

### 4.1.4 贴装胶的使用

由于贴装胶需低温储存，从低温箱内取出后要在室温条件下平衡一段时间，搅匀后再使用。如发现结块或黏度有明显变化，说明贴装胶已失效。

点胶采用的方法有针式转移法、注射法、丝网漏印法。

不同的点胶方式对贴装胶的黏度有不同的要求。在点胶后可采用手工贴片、半自动贴片或采用贴装机自动贴片，然后进行固化。

贴装胶在使用中应注意下列问题：

（1）贴装胶应在5°C以下的冰箱内低温密封保存。

(2) 使用时从冰箱取出后，应使其与室温平衡后再打开容器，以防胶结霜吸潮。

(3) 使用后留在原包装容器中的贴装胶仍要低温密封保存。

(4) 贴装胶用量应控制适当，用量过少会使黏结强度不够，波峰焊时易丢失元器件，用量过多会使贴装胶流到焊盘上，妨碍正常焊接，给维修工作带来不便。

## 4.2 焊膏

焊膏是由合金焊料粉、糊状助焊剂均匀混合而成的浆料或膏状体。它是SMT工艺中不可缺少的焊接材料，广泛用于再流焊接中。焊膏在常温下具有一定的粘性，可将电子元器件初粘在既定位置，在焊接温度下，随着溶剂和部分添加剂挥发，将被焊元器件互联在一起形成永久连接。

目前涂布焊膏多数采用丝网漏印法，其优点是操作简便、快速、配制后即刻可用。但该法也有缺点：

(1) 难以保证焊点的可靠性，易造成虚焊。

(2) 浪费焊膏，成本高。

近年来，用微机控制的自动焊膏点涂机可以克服上述缺点。

### 4.2.1 焊膏的化学组成

焊膏主要由合金焊料粉末和助焊剂组成（如表4-3所示）。其中合金焊料粉占总重量的85%～90%，助焊剂占15%～20%。

**表4-3 焊膏组成和功能**

| 组成 | | 使用的主要材料 | 功能 |
|---|---|---|---|
| 合金焊料粉 | | Sn-Pb<br>Sn-Pb-Ag等 | 元器件和电路的机械和电气连接 |
| 焊剂系统 | 焊剂 | 松香，合成树脂 | 净化金属表面，提高焊料润湿性 |
| | 黏结剂 | 松香，松香脂，聚丁烯 | 提供贴装元器件所需粘性 |
| | 活化剂 | 硬脂酸，盐酸，联氨，三乙醇胺 | 净化金属表面 |
| | 溶剂 | 甘油，乙二醇 | 调节焊膏特性 |
| | 触变剂 | | 防止分散，防止塌边 |

#### 1. 合金焊料粉末

合金焊料粉末是焊膏的主要成分。常用的合金焊料粉末有锡－铅（Sn-Pb）、锡－铅－银（Sn-Pb-Ag）、锡－铅－铋（Sn-Pb-Bi）等，常用的合金成分为63%Sn/37%Pb以及62%Sn/34%Pb/2%Ag。不同合金比例有不同的熔化温度，见表4-4。合金焊料粉末的形状、粒度和表面氧化程度对焊膏性能的影响很大。合金焊料粉末按形状分成无定形和球形两种。球形合金粉末的表面积小、氧化程度低、

制成的焊膏具有良好的印刷性能。合金焊料粉末的粒度一般在200～400目。粒度愈小，黏度愈大；粒子过大，会使焊膏黏结性能变差；粒子太细，则由于表面积增大，会使表面含氧量增高，也不宜采用。

表4-4 合金焊料温度

| 合金焊料 | 熔点/°C | 合金焊料 | 熔点/°C |
|---|---|---|---|
| Sn-Zn | 204~371 | Sn-Sb | 249 |
| Pb-Ag | 310~366 | Sn-Pb-In | 99~216 |
| Sn-Pb | 177~327 | Sn-Pb-Bi | 38~149 |

**2. 助焊剂**

在焊膏中，糊状助焊剂是合金粉末的载体。其组成与通用助焊剂基本相同。为了改善印刷效果和触变性，有时还需加入触变剂和溶剂。通过助焊剂中活性剂的作用，能清除被焊材料表面以及合金粉末本身的氧化膜，使焊料迅速扩散并附着在被焊金属表面。助焊剂的组成对焊膏的扩展性、润湿性、塌陷、黏度变化、清洗性质、焊珠飞溅及储存寿命均有较大影响。

## 4.2.2 焊膏的分类

焊膏的品种很多，通常可按以下性能分类：

**1. 按合金焊料粉的熔点分**

最常用的焊膏熔点为178°C～183°C，随着所用金属种类和组成的不同，焊膏的熔点可提高至250°C以上，也可降为150°C以下，可根据焊接所需温度的不同，选择不同熔点的焊膏。

**2. 按焊剂的活性分**

参照通用液体焊剂活性的分类原则，可分为无活性（R），中等活性（RMA）和活性（RA）三个等级（如表4-5所示），根据PCB和元器件的情况及清洗工艺要求进行选择。

表4-5 焊膏按焊剂的活性分类

| 类型 | 焊剂和活化剂 | 应用范围 |
|---|---|---|
| R | 水白松香，非活性 | 航天，军事 |
| RMA | 松香，非离子性卤化物等 | 军事和其他高可靠性电路组件 |
| RA | 松香，离子性卤化物 | 消费类电子产品 |

**3. 按焊膏的黏度分**

黏度的变化范围很大，通常为100～400Pa · s，最高可达1000Pa · s以上。依据施膏工艺手段的不同进行选择。

**4. 按清洗方式分**

按清洗方式分为有机溶剂清洗、水清洗、半水清洗和免清洗等方式。从保护环境的角度考虑，水清洗、半水清洗和免清洗是发展方向。

## 4.2.3 表面组装对焊膏的要求

在表面组装的不同工艺或工序中，要求焊膏具有的性能如表4-6所示。

**表4-6 对焊膏要求的特性和相关因素**

| 组装要求的特性 \ 材料诸因素 | | 焊料合金 | | | | | | | 焊剂 | | | | | | | | 焊膏 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 组成 | 不纯物 | 粒度 | 颗粒形状 | 粒度分布 | 氧化状态 | 熔点 | 沸点 | 含量 | 成分 | Cl量 | 氯素含量 | 触变剂量 | 溶剂量 | 电导率 | 吸水量 | 黏度 | 比重 |
| 印刷前 | 储存稳定性 | | △ | | | | | | ○ | | ○ | | | △ | △ | | ○ | | |
| 印刷到再流前 | 印刷脱模性 | | | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | | | ○ | | | | ○ | ○ |
| | 触变性 | | | ○ | △ | ○ | △ | △ | | ○ | ○ | | | ○ | △ | | | ○ | △ |
| | 黏性 | | | | | | | | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | | ○ | ○ | |
| 再流时 | 润湿性 | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | △ | | | △ | ○ | |
| | 焊料球 | | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | △ | ○ | | | △ | ○ | | ○ | ○ | |
| | 焊剂飞溅 | | ○ | | | | | △ | ○ | | | | | △ | ○ | | ○ | | |
| | 速干性 | | | | | | | △ | ○ | △ | ○ | | | △ | △ | | | | |
| 再流后 | 洗净性 | | | | | | | | △ | △ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | | | ○ | |
| | 组件表面美观 | △ | ○ | | △ | △ | ○ | | | | ○ | ○ | | △ | △ | | | | |
| | 非腐蚀性 | | △ | | | | | | | | | ○ | ○ | | | | | | |
| | 绝缘电阻 | | △ | | | | | | | △ | ○ | △ | △ | | | △ | | △ | |
| | 接合强度：张力、蠕变性、弯曲弹性、热冲击性 | ○ | ○ | | | | | ○ | | | | ○ | ○ | | | | | | |

○表示关系大，△表示有关系。

(1) 焊膏在印刷前应能保持3～4个月。

(2) 印刷时和再流加热前应具有的性能：

1) 印刷时应具有优良的脱模性；

2) 印刷时和印刷后焊膏不易坍塌；

3) 焊膏应具有一定的黏度。

(3) 再流加热时应具有的性能：

1) 应具有良好的润湿性能；

2) 应形成最少量的焊料球；

3）焊料飞溅要少；

（4）再流焊接后应具有的性能：

1）要求焊剂中固体含量越低越好，焊后易清洗干净；

2）焊接强度高。

### 4.2.4 焊膏的选用原则

根据焊膏的性能和使用要求，可参考以下几点选用：

（1）焊膏的活性可根据PCB表面清洁程度来决定，一般采用RMA级，必要时采用RA级。

（2）根据不同的涂覆方法选用不同黏度的焊膏，一般液体分配器用黏度为100~200Pa·s，丝网印刷用黏度为100~300Pa·s，漏模板印刷用黏度为200~400Pa·s。

（3）精细间距印刷时选用球形、细粒度焊膏。

（4）双面焊接时，第一面采用高熔点焊膏，第二面采用低熔点焊膏，保证两者相差30°C~40°C，以防止第一面已焊元器件脱落。

（5）当焊接热敏元件时，应采用含铋的低熔点焊膏。

（6）采用免洗工艺时，要用不含氯离子或其他强腐蚀性化合物的焊膏。

几种常用焊膏及其性能如表4-7所示。

表4-7 几种焊膏的性能

| 牌 号 | 合金组成（wt%） | 熔点（°C） | 目数/形状 | 助焊剂含量（wt%） | 氯离子含量（%） | 黏度（Pa·s） | 用 途 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SQ-1025 SZH-1 | 63Sn/37Pb | 183 | 250/球形 | 10.0 | 0.2 | 400 | 0.65mm片状器件用 |
| SQ-2030 SZH-1 | 62Sn-36Pb/2Ag | 179 | 300/球形 | 10.2 | 0.2 | 450 | 0.5mm片状器件用 |
| SQ-1030SZ (EX-3) | 63Sn/37Pb | 183 | 300/球形 | 10.5 | 0.2 | 600 | 高速贴片用 |
| SQ-1030 SOM | 63Sn/37Pb | 183 | 300/球形 | 9.0 | 0 | 350 | 免洗用 |
| 2062-506A-40-9.5 | 62Sn/36Pb/2Ag | 178~192 | 325/球形 | 9.5 | 0 | 330 | 水清洗 |
| RHG-70-220 | | 220±5 | 250/无定形 | 15.0 | 0.2 | 320±100 | 高熔点用 |
| RHG-55-165 | | 135~166 | 325/无定形 | 15.0 | 0.2 | 180±100 | 低熔点用 |

## 4.3 助焊剂

助焊剂是SMT焊接过程中不可缺少的辅料。在波峰焊中，助焊剂和合金焊料分开使用，而在再流焊接中，助焊剂则作为焊膏的重要组成部分。

焊接效果的好坏，除了与焊接工艺、元器件和PCB的质量有关外，助焊剂的选择是十分重要的。性能良好的助焊剂应具有以下作用：

(1) 除去焊接表面的氧化物；

(2) 防止焊接时焊料和焊接表面的再氧化；

(3) 降低焊料的表面张力；

(4) 有利于热量传递到焊接区。

应该认识到，助焊剂对保证焊接质量起着关键的作用。

### 4.3.1 助焊剂的化学组成

传统的助焊剂通常以松香为基体。松香具有弱酸性和热熔流动性，并具有良好的绝缘性、耐湿性、无腐蚀性、无毒性和长期稳定性，是不可多得的助焊材料。

目前在SMT中采用的大多是以松香为基体的活性助焊剂。由于松香随着品种、产地和生产工艺的不同，其化学组成和性能有较大的差异，因此，对松香优选是保证助焊剂质量的关键。

通用的助焊剂还包括以下成分：活性剂、成膜物质、添加剂和溶剂等。

**1. 活性剂**

活性剂是为提高助焊能力而加入的活性物质，它对焊剂净化焊料和被焊件表面起主要作用。

活性剂的活性是指它与焊料和被焊件表面氧化物等起化学反应的能力，也反映了清洁金属表面和增强润湿性的能力。润湿性强则焊剂的扩展性高，可焊性就好。在焊剂中，活性剂的添加量较少，通常为1%～5%，若为含氯的化合物，其氯含量应控制在0.2%以下。虽然它的添加量少，但在焊接时起很大的作用。

活性剂分为无机活性剂和有机活性剂两种。无机活性剂，如氯化锌、氯化铵等。通常无机活性剂助焊性好，但作用时间长，腐蚀性大，不宜在电子装联中使用；有机活性剂，如有机酸及有机卤化物等。有机活性剂作用柔和、时间短、腐蚀性小、电气绝缘性好，适宜在电子装联中使用。

**2. 成膜物质**

加入成膜物质，能在焊接后形成一层紧密的有机膜，保护了焊点和基板，具有防腐蚀性和优良的电气绝缘性。常用的成膜物质有松香、酚醛树脂、丙烯酸树脂、氯乙烯树脂、聚氨酯等。一般加入量在10%～20%，加入过多会影响扩展率，使助焊作用下降。在普通家电或要求不高的电器装联中，使用成膜物质，装联后的电器部件可不清洗，以降低成本，然而在精密电子装联中焊后仍要清洗。

**3. 添加剂**

添加剂是为适应工艺和工艺环境而加入的具有特殊物理和化学性能的物质。常用的添加剂有：

（1）调节剂——为调节助焊剂的酸性而加入的材料，如三乙醇胺可调节助焊剂的酸度；在无机助焊剂中加入盐酸可抑制氧化锌生成。

（2）消光剂——能使焊点消光，在操作和检验时克服眼睛疲劳和视力衰退。一般加入无机卤化物、无机盐、有机酸及其金属盐类，如氯化锌、氯化锡、滑石、硬脂酸、硬脂酸铜、钙等。一般加入量约为5%。

（3）缓蚀剂——加入缓蚀剂能保护PCB和元器件引脚，具有防潮、防霉、防腐蚀性能又能保持优良的可焊性。用作缓蚀剂的物质大多是含氮化合物为主体的有机物。

（4）光亮剂——能使焊点发光，可加入甘油、三乙醇胺等，一般加入量约1%。

（5）阻燃剂——为保证使用安全，提高抗燃性而加入的材料，如2,3－二溴丙醇等。

**4. 溶剂**

由于使用的助焊剂大多是液态的。为此，必须将助焊剂的固体成分溶解在一定的溶剂里，使之成为均相溶剂。一般多采用异丙醇和乙醇作为溶剂。

用作助焊剂的溶剂应具备以下条件：

（1）对助焊剂中各种固体成分均具有良好的溶解性。

（2）常温下挥发程度适中，在焊接温度下迅速挥发。

（3）气味小，毒性小。

## 4.3.2 助焊剂的分类

助焊剂在波峰焊中，与Sn/Pb焊锡分开使用。而在再流焊中，助焊剂作为焊膏的重要组成部分。现在广泛采用的助焊剂可以分成两大类：酸系和树脂系，如图4-1所示。由于酸系助焊剂腐蚀性强，所以在表面组装的焊接中，通常采用树脂系助焊剂。

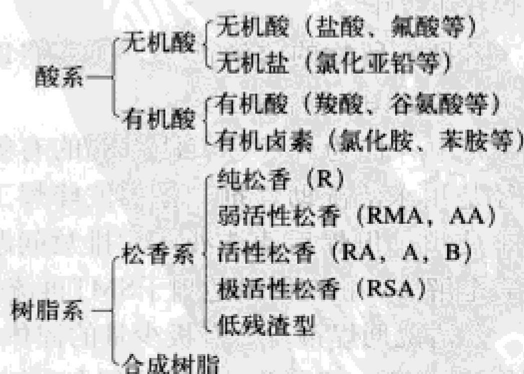


图4-1 助焊剂种类

**1. 松香系列助焊剂**

松香是最普通的助焊剂，其主要成分是松香酸及其同素异形体、有机多脂酸和碳氢化萜。在室温下松香是硬的。最纯的松香叫水白松香，简称WW，它是最弱的非活性焊剂类型。在焊接工艺中，水白松香能去除足够的金属氧化物，而使焊料获得优良的润湿性能。为了改善水白松香的活性，可添加诸如烷基胺氢卤化物（联胺卤化物）等活化剂，这就出现了如图4-2所示的松香系助焊剂。

表4-8表示出活性松香焊剂的成分。

表4-8 活性松香助焊剂的成分

| 成 分 | 组 成 | 含量/% | 熔点/°C |
|---|---|---|---|
| 树脂 | 变性，精制，重合，添水，松脂 | 15~30 | 软化80~140 |
| 活化剂 | 胺，苯胺，联氨卤化盐，三羧酸<br>脂肪酸 | 1~3<br>1~5 | |
| 溶剂 | 乙醇类，酮类 | 余量 | |
| 其他 | 界面活性剂，阻化剂，消光剂 | 若干 | |

松香系中的RMA通常以液体形式用于波峰焊接和以助焊剂形式用于焊膏。RA型广泛用于工业和消费类电子产品的制造，并常留在产品的电子组件上，如收音机、TV和电话机等产品。RSA型助焊剂，由于其腐蚀性和难清洗，所以不能用于任何类型的电路组件上。

**2. 合成助焊剂**

合成助焊剂的主要成分是合成树脂，可根据用途配成不同类型的合成助焊剂。主要用于波峰焊接中。采用双波峰焊接时，由于双波峰焊接系统具有很强的焊料擦洗作用，焊接时第一个波峰会洗掉焊料，导致第二个波峰时，由于焊料不足而出现焊料拉尖和断路。采用合成树脂和松香焊剂组成的合成助焊剂能解决这些问题。

**3. 有机助焊剂**

有机助焊剂又叫有机酸助焊剂，类似于极活性的松香助焊剂，可溶于水。这类助焊剂属腐蚀性助焊剂，并且焊后必须从组件上去除，所以在SMT的应用方面没有前途。但它们已广泛用于普通组件的焊接工艺中。

若按残留物的溶解性能，则可将助焊剂分为如图4-2所示三类：

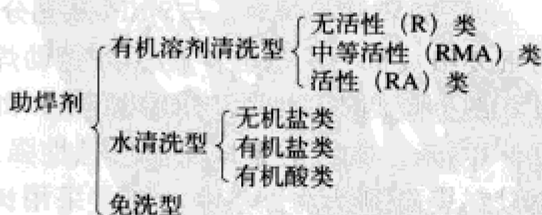



图4-2 助焊剂的分类

其中，作为替代CFC清洗剂的有效途径是用水清洗助焊剂，已在波峰焊工艺中使用，但焊后清洗液体的排放问题未完全解决。正在研制适用于SMT再流焊的水溶性焊剂配剂的焊膏。

免清洗助焊剂只含有极少量的固体成分，不挥发含量只有1/5～1/20，卤素含量低于0.01%～0.03%，一般采用合成树脂为基础的焊剂。

### 4.3.3 助焊剂的特点

为充分发挥助焊剂的作用，对助焊剂的性能提出了各种要求，主要有以下几方面：

（1）具有去除表面氧化物、防止再氧化物降低表面张力等特性，这是助焊剂

必需具备的基本性能。

(2) 熔点比焊料低，在焊料熔化之前，助焊剂要先熔化，才能充分发挥助焊作用。

(3) 浸润扩散速度比熔化焊料快，通常要求扩展率在90%或90%以上。

(4) 黏度和比重比焊料小，黏度大会使浸润扩散困难，比重大就不能覆盖焊料表面。

(5) 焊接时不产生焊珠飞溅，也不产生毒气和强烈的刺激性臭味。

(6) 焊后残渣易于去除，并具有不腐蚀、不吸湿和不导电等特性。

(7) 焊接后不沾手，焊后不易拉尖。

(8) 在常温下储存稳定。

### 4.3.4 助焊剂的选用

表4-9为几种典型助焊剂的特性。

表4-9 典型助焊剂的特点

| 牌 号 | | MH820V | F-SW32 | a-809 | LDB-1 | WS-10B | CSF-4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 产地 | | 日本 | 德国 | 美国 | 中国北京 | 中国海门 | 中国成都 |
| 项目 | 固含量/% | 22 | 13 | 25 | 24 | 25～28 | 38 |
| | 比重 | 0.840 | 0.827 | 0.860 | 0.835 | 0.840 | 0.874 |
| | 扩展率/% | 96 | | | 91 | ≥90 | 93±3 |
| | 氯含量/% | 0.12 | 0.01 | 0.15 | | ≤0.15 | |
| | 绝缘电阻/ | $1\times10^{11}$ | $1\times10^{11}$ | $1\times10^{11}$ | $2.6\times10^{15}$ | $\geq4\times10^{12}$ | $>1\times10^{11}$ |
| | 水溶性电阻率/ ·cm | | | $2.2\times10^{4}$ | $1\times10^{4}$ | $\geq5\times10^{4}$ | $1\times10^{4}$ |
| | 腐蚀性 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 |

助焊剂的选择一般考虑以下几点：助焊效果好、无腐蚀、高绝缘、耐湿、无毒和长期稳定，但还应根据不同的焊接对象来选用不同的助焊剂。

(1) 不同的焊接方式需用不同状态的助焊剂，波峰焊接应用液态助焊剂，再流焊接应用糊状助焊剂。

(2) 当焊接对象可焊性好时，不必采用活性强的助焊剂，当焊接对象可焊性差时，必须采用活性较强的助焊剂。在SMT中最常用的是中等活性的助焊剂。

(3) 清洗方式不同，要用不同类型的助焊剂。选用有机溶剂清洗，需和有机类或树脂类助焊剂相匹配；选用去离子水清洗，必需用水洗助焊剂；选用免洗方式，只能用固含量在0.5%～3%的免洗助焊剂。

## 4.4 清洗剂

焊接和清洗是对电路组件的高可靠性具有深远影响的相互依赖的组装工艺。

在SMT中，由于所用元器件体积小、贴装密度高、间距小，当助焊剂残留物或者其他杂质存留在PCB表面或空隙时，会因离子污染或电路浸蚀而断路，必须及时清洗，才能提高可靠性，使产品性能符合要求。

### 4.4.1 清洗剂的化学组成

从清洗剂的特点考虑，选择CFC-113和甲基氯仿作为清洗剂的主体材料比较适宜。但由于纯CFC-113和甲基氯仿在室温尤其在高温条件下能和活泼金属反应，影响了使用和储存稳定性。

为改善清洗效果，常常在CFC-113和甲基氯仿清洗剂中加入低级醇，如甲醇、乙醇等，但醇的加入会引起一些副作用，一方面CFC-113和甲基氯仿易于同醇反应，在有金属共存时更加显著，另一方面低级醇中带入的水分还会引起水解反应，由此产生的HCl具有强腐蚀性。表4-10列出了CFC-113类清洗剂在未加稳定剂的情况下，对各种金属的腐蚀情况。

表4-10 各种金属浸渍试验

| 清洗剂组成 | 金属腐蚀情况 | | | | 清洗剂外观 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 铁 | 铝 | 铜 | 铅 | |
| CFC－113 | <1d× | 7d○ | 2d× | 2d× | 无变化 |
| CFC113/乙醇 | <1d× | <1d× | <1d× | <1d× | 无变化 |
| CFC113/二氯甲烷 | <1d× | <15d✓ | >15d✓ | >15d✓ | 无变化 |
| CFC113/丙酮 | <1d× | <1d× | 1d○ | 9d○ | 无变化 |
| CFC113/异丙醇 | 1d× | 5d△ | 1d× | 15d✓ | 无变化 |

×表示生锈严重，△表示部分生锈，○表示不生锈但金属变色，✓表示无变化，d表示天。

因此，在CFC-113和甲基氯仿中加入各类稳定剂显得十分重要。在CFC-113清洗剂中常用的稳定剂有乙醇酯、丙烯酸酯、硝基烷烃、缩水甘油、炔醇、N-甲基吗啉、环氧烷类化合物。表4-11列出了加与不加稳定剂的清洗剂对金属腐蚀情况的比较。从表中可以看出加稳定剂的CFC-113清洗剂Freon-TES和F-TYX以及甲基氯仿清洗剂TC-2比不加稳定剂的Freon-TE具有较好的稳定性。

表4-11 清洗剂抗腐蚀性试验结果

| 清洗剂牌号 | 回流时间/天 | 铝 | 锌 | 镁 | 铸铝 | 铸 铁 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Freon-TE | 1 | × | × | × | | |
| Freon-TES | 6 | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| F-TYX | 6 | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| TC-2 | 14 | | | | ✓ | ✓ |

×表示严重腐蚀，✓表示无变化。

## 4.4.2 清洗剂的分类

早期采用的清洗剂有乙醇、丙酮、三氯乙烯等。现在广泛应用的是以CFC-113（三氟三氯乙烷）和甲基氯仿为主体的两大类清洗剂。但它们对大气臭氧层有破坏作用，现已开发出CFC的替代产品，使用时应根据助焊剂类型进行选择。

### 1. CFC清洗剂

表4-12和表4-13表示出以CFC-113为主要成分的清洗剂物理特性和组成。它脱脂效率高、对油脂松香及其他树脂有较强的溶解能力，表面张力小，具有较好的润湿性，对金属材料不腐蚀，不会损害元器件和标记，并且易挥发。

**表4-12 以CFC-113为主要成分的清洗剂的物理特性**

| 物理特性 | Alpha 1001 | Alpha 1003 | Freon TMC | Freon TMS | Genesolv DTA | Genesolv DMS | Genesolv DES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 沸点（760mmHg）/℃ | 76 | 82 | 36.2 | 39.7 | 34.2 | 45.0 | 44.4 |
| 在沸点的气化潜热/Ib（英制热量单位,1Ib≈252Car） | 128 | 100 | 104.0 | 90.7 | – | – | 78.0 |
| 密度/g · $cm^{-3}$（$a$=68°F, $b$=77°F） | | | 1.420$b$ | 1.477$b$ | 1.404$a$ | 4.462$a$ | 1.486$a$ |
| 黏度/cP（$a$=70°F, $b$=77°F） | | | 0.461$b$ | – | 0.538$b$ | – | 0.70$a$ |
| 表面张力/dyn（$a$=75°F, $b$=77°F, $c$=70°F, $d$=68°F） | | 21.4$b$ | 17.4$b$ | 22.1$c$ | 19.0$d$ | 19.4$a$ | |
| 贝壳松脂丁醇值 | 71 | 71 | 86 | 45 | 148 | 48 | 43 |

**表4-13 几种普通含氟烃清洗剂的组成**

| 共沸混合物/% | | | |
|---|---|---|---|
| Alpha1001: | | Alpha1003: | |
| 四氯二氟乙烷 | 72 | 四氯二氟乙烷 | 85 |
| 异丙醇 | 28 | n－丙醇 | 15 |
| 稳定剂 | – | 稳定剂 | – |
| Freon TMC+: | | Genesolv DTA#: | |
| 三氯二氟乙烷 | 50.5 | 三氯二氟乙烷 | 50.0 |
| | 49.5 | | 41.7 |
| | | 甲酸 | 3.2 |
| **溶剂混合物/%** | | | |
| Freon TMC+: | | Genesolv DTA#: | |
| 三氯二氟乙烷 | 94.05 | 三氯二氟乙烷 | 92.0 |
| 甲酸 | 5.70 | 甲酸 | 4.0 |
| 硝基甲烷 | 0.025 | 乙醇 | 2.0 |
| | | 异丙醇 | 1.0 |
| | | 硝基甲烷 | 1.0 |

（续）

| | |
|---|---|
| Genesolv DES#: | |
| 三氯二氟乙烷 93.5 | |
| 乙醇 3.5 | |
| 异丙醇 2.0 | |
| 硝基甲烷 1.0 | |

2. 替代CFC清洗剂

表4-14和表4-15为几种替代技术和替代材料。半水洗溶剂被认为是最有希望的替代材料，而HCFC（含氢氟氯）具有一定毒性。水清洗剂可用于采用水溶助焊剂的场合。

表4-14 几种替代技术与CFC-113的比较

| 工 艺 | 设 备 | 安 全 性 | 溶剂可回收性 | 能 耗 |
|---|---|---|---|---|
| CFC－113 | 现用 | 高 | 可 | 低/中 |
| 氯化溶剂 | 现用 | 中 | 可 | 中 |
| 水清洗 | 现用 | 高 | 否 | 高 |
| 半水清洗 | 新 | 低 | 否 | 高 |
| 醇类清洗 | 新 | 低 | 可 | 中 |
| HCFC | 新 | 中/高 | 可 | 低/中 |

表4-15 几种替代材料

| 材料牌号 | 类 型 | 制造公司 | 认可情况 |
|---|---|---|---|
| 9434 | HCFC | Du Pont | 未 |
| 2010 | HCFC | Allied | 认可 |
| 2004 | HCFC | Allied | 认可 |
| SMT | CFC,含添加剂 | Du Pont | 认可 |
| BIOACT EC－7 | 半水洗 | Alpha | 认可 |
| Marclean R | 半水洗 | Martin Marietta | 认可 |
| Axeral 38 | 半水洗 | Du Pont | 认可 |

### 4.4.3 清洗剂的特性

一般说来，一种性能良好的清洗剂应当具有以下特点：

（1）脱脂效率高。对油脂、松香及其他树脂有较强的溶解能力。

（2）表面张力小，具有较好的润湿性。

（3）对金属材料不腐蚀，对高分子材料不溶解、不溶胀，不会损害元器件和标记。

（4）易挥发。在室温下就能从PCB上除去。

（5）不燃、不爆、低毒性，利于安全操作，也不会对人体造成危害。

（6）残留量低，清洗剂本身也不污染PCB。

（7）稳定性好，在清洗过程中不会发生化学或物理作用，并具有储存稳定性。

### 4.4.4 清洗方式

清洗分为浸泡清洗、超声波清洗、气相清洗和喷淋清洗等方式。在SMT中应用的清洗常是几种方式的结合。清洗从操作方式上分可以是连续式的也可以是间歇式的，可采用手工方式也可以用自动化机器，从使用的清洗剂来分有溶剂清洗和水清洗。

**1. 浸泡清洗**

将欲清洗的组装板浸泡于清洗剂中，使助焊剂残留物溶解脱落达到清洗的目的。该法设备简单、操作方便，但清洗效果差，并需经常更换新鲜清洗剂，该法通常不单独使用。

**2. 超声波清洗**

利用超声波发生器发射的高频振荡信号，通过换能器转换成高频机械振动而传播到清洗液中。超声波在瞬间可形成超过1000大气压的高压，不断地轰击被清洗的器件表面，达到被清洗物表面和缝隙中污垢迅速脱落的目的。超声波清洗对清除难溶性助焊剂残留物最有效，产生的瞬间高压尚未发生过损坏元件的现象。

**3.气相清洗**

气相清洗是在清洗剂沸腾的状态下，将被清洗物放入清洗剂中浸泡，然后提到气相区，在气相区汽洗、干燥。这种方法清洗的物件洁净，且不需再干燥，但不易除去不溶或难溶性助焊剂残留物。

**4. 喷淋清洗**

喷淋清洗是在泵的作用下，将清洗剂喷射到被清洗物上。其特点是冲刷力强，能将元器件底部冲洗干净，但喷淋过程易产生静电，对耐电压低的元器件不宜采用。

表4-16列出了国内外几种常用的CFC-113清洗剂，使用时根据需要选用。

**表4-16 常用CFC-113清洗剂牌号**

| 国 别 | 美 国 | 日 本 | 中 国 | |
|---|---|---|---|---|
| 牌号 | Freon TMC<br>Freon TMS<br>Freon TE<br><br>Freon TES | Daiflon S3-MC<br>Daiflon S3-MS<br>Daiflon S3-E<br><br>Daiflon S3-ES | FC-TMC<br>FC-TMS<br>FC-TE | FC-2C<br><br>F-SYX(FC-3E)<br>F-TYX(FC-4E)<br>FC-5C |

注：F-TYX和FC-5C分别在稳定性和清洗效果方面作了改进。

## 4.5 其他材料

### 4.5.1 阻焊剂

阻焊剂是为适应现代化电器设备安装和元器件连接的需要而发展起来的防焊涂料，它能保护不需焊接的部位，以避免波峰焊接时出现焊锡搭线造成的短路和焊锡的浪费。

在PCB上应用的阻焊剂种类很多，通常可分为热固化、紫外光固化和感光干膜三大类，前两类都属于印料类阻焊剂，即先经过丝网漏印然后再固化，而感光干膜是将干膜移到PCB上再经过紫外照射显影后制成。

热固化型阻焊剂使用方便、稳定性较好，其主要缺点是效率低、耗能。感光干膜精度很高，但需要专用的设备，使其难以用于生产。目前紫外光固化型阻焊剂发展较快，它克服了热固化型阻焊剂的缺点，在高度自动化的生产线中广泛应用。

在阻焊剂中采用的基体树脂有环氧丙烯酸酯、丙烯酸聚氨酯、聚酯丙烯酸酯和有机硅丙烯酸酯等。

### 4.5.2 防氧化剂

防氧化剂是为防止焊接时焊料氧化产生浮渣而加入的辅料。它不仅具有防氧化作用，而且还能将焊接时生成的浮渣还原成焊锡。防氧化剂对节约焊锡、保证焊接质量起着重要的作用，因而普遍应用在波峰焊接中。

常用的防氧化剂有两类，一类是低分子量聚苯醚和聚苯醚羧酸混合物，这类防氧化剂耐热性好，使用寿命长，但由于制备困难，价格高，难于使用；另一类是由油类（如矿物油、动物油、植物油和蜡等）和还原剂（不饱和羧酸、天然树脂及合成树脂）组成的防氧化剂，并需加入适量的热稳定剂和防蚀剂等，这类防氧化剂价格低、还原能力强，被广泛采用。

### 4.5.3 插件胶

指固定插装元器件用的胶粘剂，又称临时性黏结剂。对该材料要求电绝缘、耐高温，室温下呈固态，加热时（70°C～80°C）熔化，且具有适当的黏结强度并兼有助焊性。

改性丁基胶、热熔胶以及松香树脂的无机胶粘剂都可作为插件胶使用。

### 4.5.4 无铅焊料

由于铅及其化合物是污染环境的有毒物质，使用无铅焊料是一种必然的发展

趋势。与常用Sn/Pb焊料相比，无铅焊料的熔点增高，密度与润湿性降低，成本提高，机械性能等也有所变化。与之对应的焊接工艺、焊接工艺材料选择、焊接设备参数要求等组装工艺条件也将发生变化。表4-17和表4-18分别列出了典型无铅焊料的物理性能及成本比较等。目前，国内无铅焊料及其组装工艺技术尚处于发展阶段，工艺技术尚不是很成熟，选用无铅焊料时要充分重视与工艺改进的配合。

**表4-17　典型无铅焊料的物理特性**

| 钎料 | 熔点 $t$/°C | 再流焊接的最高加热温度 $t$/°C | 抗拉强度 $P$/MPa | 延伸率 $\delta$/% | 表面张力 | | 电导率 $\rho$/% IACS | 热导率 $P$/W · cm$^{-1}$ · °C$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 空气 $F$/mN · m$^{-1}$ | 氮气 $F$/mN · m$^{-1}$ | | |
| Sn-37Pb | 183 | 220 | 51 | 27 | 468 | 495 | 11.5 | 0.50 |
| Sn-0.7Cu | 227 | 245 | 35 | 20 | 491 | 461 | 13.4 | 0.68 |
| Sn-3.5Ag | 221 | 243 | 31 | 23 | 431 | 493 | 23 | 0.73 |

**表4-18　典型无铅焊料的熔点与成本**

| 合　金 | 熔化温度$t$/°C | 相对成本* | 备　注 |
|---|---|---|---|
| Sn-37Pb | 183 | 1.0 | |
| Sn-58Bi | 138 | 1.4 | 低熔点，限用特殊场合 |
| Sn-20In-2.8Ag | 179~189 | 7.6 | 成本高 |
| Sn-10Bi－5Zn | 168~190 | 1.2 | 润湿性差 |
| Sn-9Zn | 199 | 1.2 | 润湿性差 |
| Sn-7.5Bi-2Ag-0.5Cu | 186~212 | 1.8 | 制造难度偏大 |
| Sn-3.2Ag-0.5Cu | 217~218 | 2.0 | |
| Sn-3.5Ag-1.5In | 218 | 2.4 | |
| Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb | 213~218 | 1.8 | 制造难度偏大 |
| Sn-3.5Ag | 221 | 2.0 | |
| Sn-2.5Ag | 221~226 | 1.8 | |
| Sn-0.7Cu | 227 | 1.2 | 熔点偏高 |
| Sn-5Sb | 232~240 | 1.2 | 熔点偏高 |
| Sn-3.5Ag-4.8Bi | 205~210 | 2.0 | |

* 单位体积钎料的成本，以63Sn-37Pb为标准。

# 第5章　表面组装涂敷技术与设备

## 5.1　表面组装涂敷技术

焊膏和贴装胶涂敷技术是表面组装工艺技术的重要组成部分，它直接影响表面组装组件的功能和可靠性。焊膏涂敷经常采用印刷技术，贴装胶涂敷则通常采用滴涂技术。

### 5.1.1　焊膏涂敷技术

焊膏涂敷是将焊膏涂敷在PCB的焊盘图形上，为SMC/SMD的贴装、焊接提供粘附和焊接材料。焊膏涂敷主要有非接触印刷和直接接触印刷两种方式。非接触印刷常指丝网漏印，直接接触印刷则指模板漏印。

**1. 丝网漏印**

丝网漏印工艺过程如图5-1所示。其特点是位置准确、涂敷均匀、效率高。丝网漏印所用的丝网印刷机主要有手动、半自动、视觉半自动和全自动四种类型（如表5-1所示）。手动式精度最低，但价格便宜。半自动（尤其带视觉）精度最高。最简单的丝网印刷机的外形结构与油印机相同。而高效能、高精度的印刷机则采用逻辑线路控制，其印刷速度、压力、角度均可调节，以确保印刷质量。

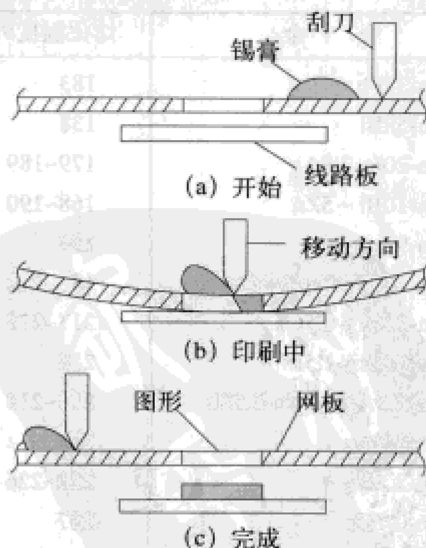



图5-1　丝网印刷工艺过程

表5-1　丝网机类型

| 类型 / 项目 | 手　动 | 半 自 动 | 视觉半自动 | 全 自 动 |
|---|---|---|---|---|
| 操作 | 手动上板<br>手动印刷 | 手动上板<br>自动印刷 | 手动上板平进<br>平出自动印刷 | 自动上板<br>自动印刷 |
| 重复精度 | >±0.015 | ±0.01 | ±0.005~±0.08 | ±0.015~±0.02 |
| PCB定位 | 边缘/孔定位 | | 视觉定位 | 边缘/孔定位 |
| *x-y-z* | 可　调 | | | |

（续）

| 项目＼类型 | 手　动 | 半 自 动 | 视觉半自动 | 全 自 动 |
|---|---|---|---|---|
| 刮刀压力、速度 | 可　调 | | | |
| PCB分离 | 倾斜分离 | | 垂直分离 | |
| 应用 | 精度不高<br>小/中批量 | 0.5mmQFP<br>中/大批量 | 0.3mmQFP<br>中批量 | 0.65mmQFP<br>大批量 |
| 价格（美元） | 0.3万~0.6万 | 1万~3万 | 3万~5万 | 4万~8万 |

丝网印刷技术包括丝网制板技术和丝网印刷技术。

（1）丝网制板技术

丝网制板就是制作网板，网板是丝网印刷机的关键部件。它由网框、丝网和掩膜图形构成。一般，掩膜图形用适当的方法制作在丝网上，丝网则绷在网框上。

①网框

网框的作用是支撑和绷紧丝网，使丝网与PCB夹持机构的工作台保持平行。一般网框材料有木材、阳极化处理的铝合金和不锈钢等。在满足强度要求的前提下，应尽量选用轻质合金，以便印刷操作。

根据绷网方式，网框有固定网框和自绷网框两类。固定网框是把丝网固定到网框上。现在常用黏结剂固定法，借助绷网机将丝网直接绷到网框上，使丝网绷紧位置和网框构成一个整体，借助“螺丝调节”或“棍式框架”自张绷网。这种方式适合于多品种、少批量印刷的场合。

②丝网

丝网绷紧在网框上，它是掩膜图形的载体，也是控制焊膏印刷量的重要工具，它能决定焊膏印刷精度和质量。丝网可由不同材料编织，其中不锈钢丝网很适用于焊膏印刷（如表5-2所示）。

**表5-2　常用不同丝网材料性能的比较**

| 性　能 | 材　质 | | |
|---|---|---|---|
| | 不 锈 钢 网 | 尼 龙 网 | 聚 酯 网 |
| 抗张强度 | 极高 | 中等 | 高 |
| 耐化学药品 | 极佳 | 佳 | 佳 |
| 吸水率（20ºC65RH） | 不吸水 | 24% | 0.4% |
| 网目范围 | 30~500 | 16~460 | 60~390 |
| 尺寸稳定性 | 极佳 | 差 | 中等 |
| 耐磨性能 | 极佳 | 中等 | 中等 |
| 弹性及伸长率 | 差<br>伸长0.1% | 极佳<br>伸长2% | 佳<br>伸长2% |
| 耐印次数 | 20 000 | 40 000 | 40 000 |

（续）

| 性　能 | 材　质 | | |
|---|---|---|---|
| | 不锈钢网 | 尼　龙　网 | 聚　酯　网 |
| 破坏点延伸率 | 40%~60% | 20%~24% | 10%~14% |
| 油量控制 | 差 | 佳 | 佳 |
| 纤维粗细 | 细 | 较粗 | 粗 |
| 价格 | 最高 | 低 | 中等 |

用不锈钢丝网时，通常在不锈钢金属网上，涂敷一层感光乳剂，使其干燥成为感光膜。然后将负底片紧贴在感光膜上，用紫外线曝光。曝光的部分聚合成为持久的涂层，未曝光的部分用显影剂将其溶解掉。这样，在需要沉积焊膏、黏结剂的部位形成漏孔，干燥后，不锈钢金属网上的感光膜就成为印刷用网板。如图5-2所示。

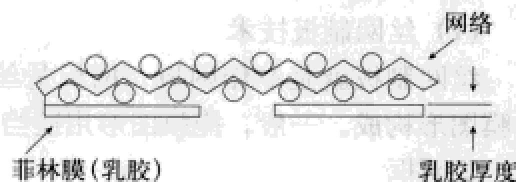



图5-2　丝网

③感光制板

丝网制好绷紧在网框上后，通过乳剂涂敷和感光制板制成供印刷用的精确掩膜图形，这是丝网制板的关键工序，也是确保印刷焊膏可靠性的关键所在。

感光制板的主要工艺步骤是：丝网准备、感光乳剂涂敷、曝光、显影和冲洗、最终检查。其中感光乳剂涂敷方式，即掩膜方式有直接乳剂制板法和直接/间接制板法（菲林膜）。

直接制板法制得的掩膜清晰度尚好，耐印次数高；菲林膜法制得的掩膜边沿清晰，但耐印次数低。所以大批量生产时采用直接制板法，小批量和要求精度高时采用菲林膜法。

（2）丝网印刷技术

丝网印刷技术是采用已经制好的网板，用一定的方法使丝网和印刷机直接接触，并使焊膏在网板上均匀流动，由掩膜图形注入网孔。当丝网脱开PCB时，焊膏就以掩膜图形的形状从网孔脱落到PCB的相应焊盘图形上，从而完成了焊膏在PCB上的印刷。完成这个印刷过程而采用的设备就是丝网印刷机。

①丝网印刷原理

丝网印刷原理如图5-1所示。印刷时，刮板在网板上以一定的速度和角度向前移动，推动焊膏在刮板前滚动，产生将焊膏注入网孔时所需的压力。由于焊膏是黏性触变流体，焊膏中的黏性摩擦力会使其流层之间产生滑动，并产生切变，而在刮板凸缘附近与丝网交接处，焊膏的切变速率最大。这就一方面产生使焊膏注入网孔时所需的压力，另一方面切变速率的提高也会使焊膏黏性下降，有利于将

焊膏注入网孔。当刮板速度和角度适当时，焊膏就会顺利地注入丝网网孔。因此，刮板速度、刮板与丝网的角度以及焊膏黏度、施加在焊膏上的压力以及由此引起的切变速率的大小是主要影响因素，而且它们之间存在一定的制约关系，正确控制这些参数就能获得优良的焊膏印刷质量。

②丝网印刷机的结构

丝网印刷机一般由PCB定位系统、刮刀系统和网板组成。

A. PCB定位系统

PCB定位系统一般采用带双面真空吸盘的工作台，可用来印制双面板。PCB的定位一般采用孔定位方式，再用真空吸紧。工作台的*x*-*y*-*z*轴均可微调，以适合不同种类PCB的要求和精确定位。

PCB的放进和取出方式有两种，一种是将整个刮刀机构连同网/模板抬起，将PCB拉进或取出。采用这种方式时PCB的定位精度不高；另一种是刮刀机构及网/模板不动，PCB“平进平出”，使模板与PCB垂直分离。这种方式的定位精度高，印刷焊膏形状好。

有时，因PCB变形或PCB上的焊盘图形制作不精确，采用孔定位难以保证精度，而采用视觉系统对PCB上的基准标号定位（与贴片机类似），并进行掩膜校正，可以使装调时间少而精度高，同时还能对PCB进行扫描焊盘图形的变形位置检查，一旦误差超出偏差标准，即告知操作者。

B. 刮刀系统

刮刀系统是丝网印刷机上最复杂的运动机构。它由刮刀、速度压力控制器和溢流叶片等组成。

溢流叶片（溢流棒）用于丝网印刷机时，会使整个丝网面积扩展而成为均匀的一层。

刮刀可从丝网上移去多余的焊膏，同时使焊膏充满丝网开孔。当丝网脱开PCB时，就会在PCB上相应处留下适当厚度的焊膏。

刮刀是一种由聚基甲酸脂制成的弹性体，它的硬度是影响印刷质量的重要因素。通常刮刀的形状有剑形、平形和角形。刮刀的形状不同，材料不同，印刷角度也就不同。图5-3所示为三种刮刀的形状与印刷角度。

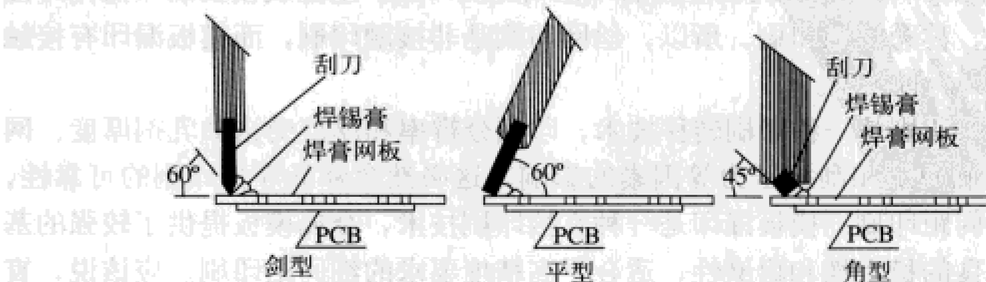



图5-3 刮刀形状与印刷角度

另外，刮刀的速度和压力也是影响质量和厚度的重要因素，它们一般可以调节。

**2. 模板漏印**

模板漏印属直接印刷技术，它是用金属漏模板代替丝网印刷机中的网板。所谓漏模板是在一块金属片上，用化学方式蚀刻出漏孔或用激光刻板机刻出漏孔。此时，焊膏的厚度由金属片的厚度确定，一般比丝网印刷的厚。

制作模板的材料主要有不锈钢和黄铜，表5-3所示为两种漏模板材料的比较。

**表5-3 两种漏模板材料比较**

| 项 目 | 不 锈 钢 | 黄 铜 |
|---|---|---|
| 蚀刻 | 不易 | 容易 |
| 蚀刻品质 | 较佳 | 一般 |
| 硬度 | 高 | 低 |
| 应力承受 | 较佳 | 一般 |
| 寿命 | 较长 | 短 |
| 制作成本 | 高 | 一般 |
| 印刷效果 | 较佳 | 一般 |

根据漏模板材料和固定方式，可将漏模板分成三类：网目/乳胶漏板、全金属漏板、柔性金属漏板。网目/乳胶漏板的制作方法与丝网网板相同，只是开孔部分要完全蚀刻透，即开孔处的网目也要蚀刻掉，这将使丝网的稳定性变差，另外这种漏板的价格也较贵；全金属漏板是将金属漏板直接固定在框架上，它不能承受张力，只能用于接触印刷。这种漏板的寿命长，但价格也贵；柔性金属漏板是利用金属漏板四周的聚酯与框架相连，并以（30~223）$N/cm^2$的张力张在网框上，使它保持一定的张力。这种方式即具备了金属漏板的刚性，又具备了丝网的柔性，能进行非接触印刷，因此应用最广泛。

**3. 丝网印刷和模板漏印的比较**

（1）丝网印刷和柔性金属模板漏印都是非接触印刷。印刷时，丝网或丝网/模板绷紧在金属框架上，并与PCB上的焊盘图形对准。印刷焊膏时，刮板行程后面的丝网或模板恢复到起始位置，焊膏从开孔处脱落到焊盘上。因此，PCB顶面和丝网或模板之间有一间隔，这个间隔就叫印刷间隙，这种有印刷间隙的印刷操作就叫做非接触印刷；网目/乳胶模板漏印也属此类印刷。全金属模板漏印操作时没有印刷间隙，称为接触印刷。所以，丝网印刷是非接触印刷，而模板漏印有接触和非接触印刷两种类型。

（2）丝网印刷是一种印刷转移技术，印刷分辨率和厚度受诸如乳剂厚度、网孔密度、印刷间隙和刮板压力等因素的影响，这必然会降低焊膏印刷的可靠性，也不适合细间距印刷。模板漏印是一种直接印刷技术，金属模板提供了较强的基体，具有优良的稳定性和耐磨性，适合于高精度要求的细间距印刷。应该说，直接印刷是焊膏印刷最佳的选择。

（3）在模板漏印中，模板上的直通开孔提供了高的可见度，容易进行对准，并且开孔不会堵塞，容易得到优良的印刷图形，并易于清洗。

（4）模板漏印可进行选择印刷，而丝网印刷则不行。当细间距器件和普通器件组装在同一块PCB上时，所要求的焊膏厚度不同，此时选择印刷能满足同一块PCB上不同厚度焊膏印刷的要求。随着细间距器件的广泛采用，选择印刷将逐渐普及。用选择印刷时可在网目/乳胶模板上进行选择蚀刻，或在金属模板上进行分步蚀刻。

（5）这两种印刷技术采用的印刷机在结构上有一定差别，印刷方式亦不相同。另外，模板漏印可采用手工印刷，而丝网印刷则不能采用手工印刷。

### 5.1.2 贴装胶的涂敷

在混合组装中常用贴装胶把表面元器件暂时固定在PCB的焊盘上，使片式元件在后续工序和波峰焊接作业时不会偏移或掉落；在双面组装时，也要采用贴装胶辅助固定表面组装集成电路，以防止翻板和工序间操作振动时，表面组装集成电路掉落。因此，在贴装表面组装元器件之前，要在PCB上设定焊盘位置涂敷贴装胶。

涂敷贴装胶一般采用滴涂技术，以针状敷胶头给指定位置施加胶点，通常称之为“点胶”，相应的设备称为点胶机。

#### 1. 涂敷原理

采用滴涂技术涂敷贴装胶时，无论用什么方法都要求贴装胶能顺利地离开针头或针端，而不会形成“成串”的、不精确的或随机量的涂敷。这就要求：第一，贴装胶必须与PCB表面有一定的润湿力，也就是说，贴装胶必须能润湿PCB表面；第二，贴装胶对PCB表面的润湿力必须比对针管和针头的润湿力和它本身的内聚力大。如果贴装胶对PCB的润湿力小，滴涂就困难。而如果它具有很大的内聚力，就会形成“成串”的滴涂。

#### 2. 涂敷方法

贴装胶的涂敷方法主要有三种：滴涂器滴涂（注射法）、针板转移式滴涂（针印法）、用印刷机印刷。

（1）注射法

注射法是涂敷贴装胶时最普遍采用的方法。所用的滴涂器类似于医用注射器。操作时，先将贴装胶灌入滴涂器中，加压后迫使贴装胶从针头排出，滴到PCB要求的位置上（如图5-4所示）。贴装胶的滴涂量主要受空气压力、针头内径和贴装胶流变特性的控制。由于贴装胶的流变特性与温度有关，所以滴涂时

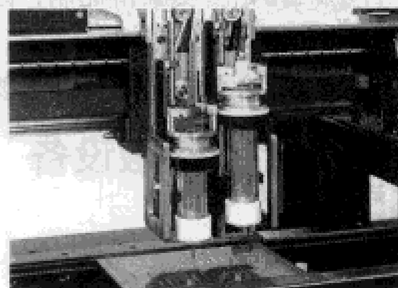
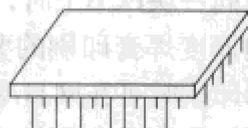



图5-4 点胶示意图

最好使贴装胶处于恒温状态。为了精确控制滴涂量和位置精度，还可采用微机进行控制。在全自动贴装机上，一般在相应于贴装头的位置上都装有滴涂器，操作时可按贴装程序自动进行滴涂作业。

(2) 针印法

针印法可单点滴涂，也可同时成组将贴装胶转移到PCB要求的位置上。在单一品种的大批量生产中，一般采用自动转移机，利用其上的针矩阵组件（针板）（如图5-5所示）进行成组多滴涂敷。


图5-5　针板

涂敷时，先将针板浸入贴装胶中，其深度为1.5mm～2mm。当针板提起时，由于表面张力使针上挂着一些贴装胶，然后将针板转移到PCB的表面，对准PCB预定的位置按下，直到贴装胶接触到板面。当针板被再次提起时，由于贴装胶对非金属基板的亲和力比对金属针的大，这样一定量的贴装胶就会粘在基板上，而重力则保证了每次针所携带的贴装胶量几乎是均匀的（如图5-6所示）。此法是一种非常快速的涂敷方式，在某些场合使用比较广泛。

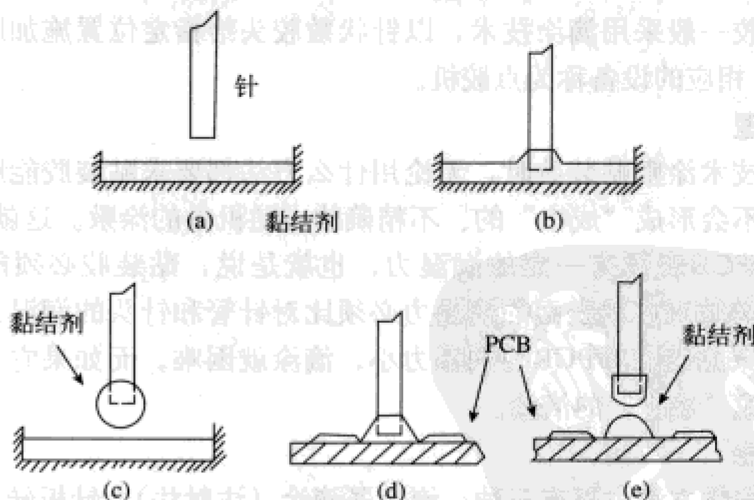


图5-6　针式转印技术原理图

在针印法中黏度要严格控制，以防止拖尾现象。至于针印系统则可由硬件或软件控制。目前，针印法在大批量生产中使用的很少，一般用在对涂敷精度要求不高的THC黏结。这种涂敷技术的关键是要制作与印制板上滴胶位置相对应的针矩阵组件。

## 5.2　表面组装涂敷设备

### 5.2.1　焊膏印刷机

#### 1. 焊膏印刷机基本功能

焊膏印刷机是组成SMT组装系统或SMT生产线的主要设备，用于将焊膏（膏

状焊料）涂敷在未贴装有元器件的PCB的焊盘上。它也可用于在PCB上涂敷固定SMC/SMD用的黏结剂，但很少采用。早期的焊膏印刷机大多采用丝网印刷涂敷工艺，因此，习惯上也称其为焊膏丝网印刷机，简称丝印机。焊膏印刷机有手动、半自动、全自动等类型，目前，在SMT组装系统或SMT生产线中配置的焊膏印刷机一般均为全自动印刷机。

焊膏印刷机的基本功能是：采用丝网印刷或网板印刷技术，将定量的焊膏，精确、均匀、快速地涂敷在PCB的各个指定位置上。全自动焊膏印刷机具有较强的功能，它可自动完成一系列的焊膏印刷操作过程。

如图5-7所示，全自动焊膏印刷机基本功能主要有：

（1）在线接受控制程序或调用系统已存储控制程序；

（2）将PCB自动传送到待涂敷位置，并用光学自动检测系统进行精确定位；

（3）将焊膏自动添加至丝网或网板上；

（4）按控制程序自动完成刮刀刮印等印刷涂敷系列动作；

（5）将涂敷完毕的PCB自动送出。

功能强的全自动焊膏印刷机除上述基本功能外，还可以具备以下附加功能：

（1）印刷后的焊膏厚度自动检测；

（2）刮刀压力、速度等涂敷工艺参数自动调整；

（3）印刷网板自动清洗；

（4）印刷网板自动更换等。

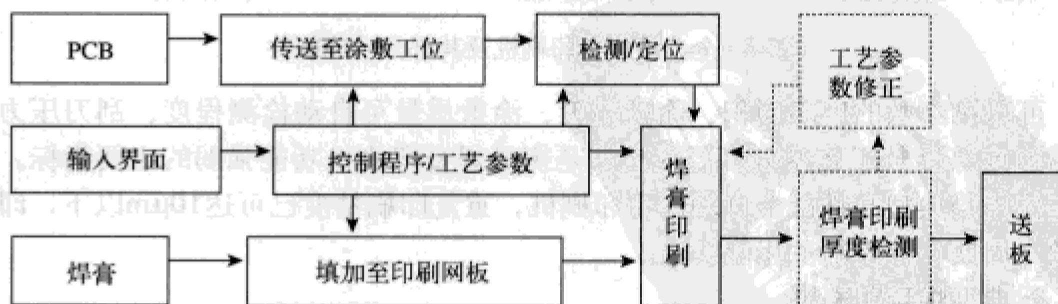
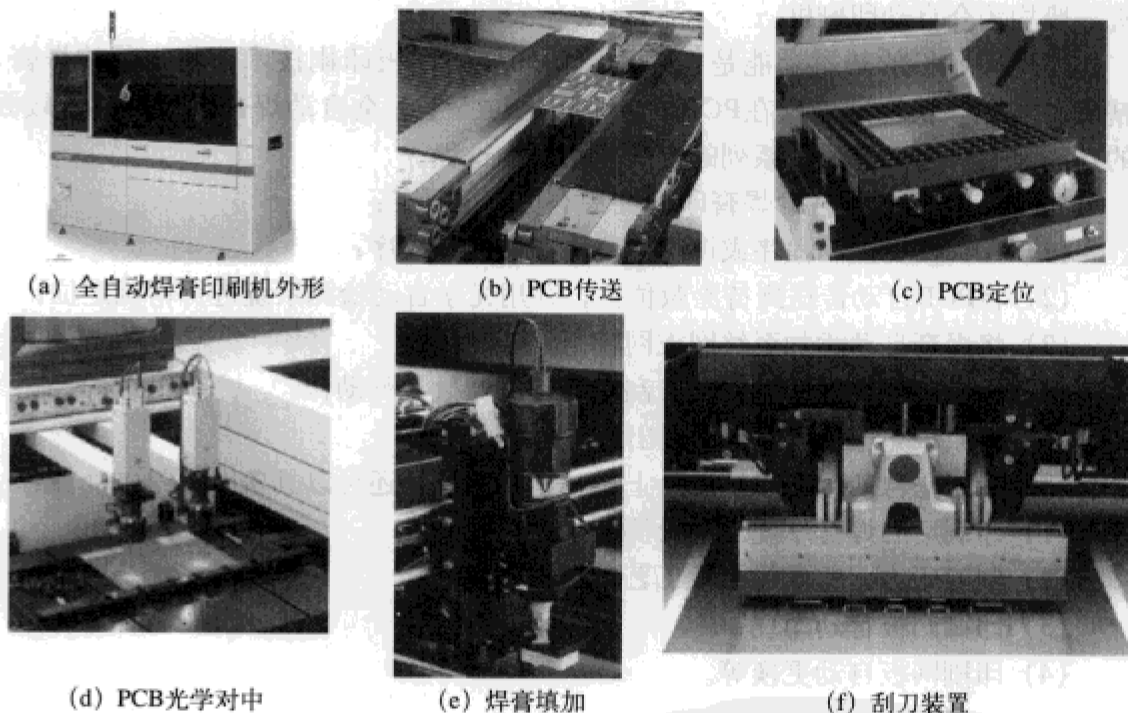



图5-7 全自动焊膏印刷机基本功能

这些附加功能有的可以通过选配相应自动装置有选择性地实现。例如，印刷后的焊膏厚度自动检测功能，可以通过选配焊膏厚度自动检测系统而实现。选配这些附加装置虽可进一步提高焊膏印刷机的自动化程度和印刷质量，但代价比较昂贵，实际中采用的并不多。其中，刮刀压力、刮印速度等涂敷工艺参数的自动检测和调整功能大多全自动焊膏印刷机尚未具备。一般均还需根据焊膏厚度等印刷质量参数的检测结果，采用人工参与的方式进行涂敷工艺参数的调整。但随着SMT的发展和对SMT产品的组装质量要求的不断提高，利用各种附加装置进一步

提高印刷质量和效率，已是全自动焊膏印刷机的一种必然发展趋势。

全自动焊膏印刷机的各种基本功能，由其各主要组成部件分别完成或协调完成。如图5-8所示，这些功能部件主要有PCB传送、PCB定位、PCB光学对中、焊膏填加、刮刀装置、计算机控制、动力驱动等装置和系统。



(a) 全自动焊膏印刷机外形　(b) PCB传送　(c) PCB定位

(d) PCB光学对中　(e) 焊膏填加　(f) 刮刀装置

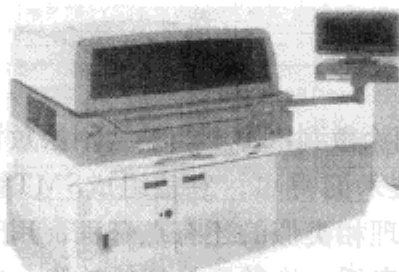
图5-8 全自动焊膏印刷机及其部分功能部件

可印刷涂敷的PCB面积、涂敷精度、涂敷质量可自动检测程度、刮刀压力和刮印速度等涂敷工艺参数可控程度等是衡量焊膏印刷机功能强弱的主要指标。目前在使用的典型高性能全自动焊膏印刷机，重复印刷精度已可达10μm以下，印刷节拍（周期）可控制在几秒以内。

**2. 典型焊膏印刷机**

焊膏印刷机有手工印刷机、半自动印刷机和全自动印刷机之分，手工印刷机和半自动印刷机多用于产品研制和小规模生产场合，全自动印刷机多用于生产线上的大规模生产。

全自动印刷机的PCB的置取均利用边缘承载的输送带完成，工艺参数如刮刀速度、刮刀压力、印刷长度、非接触间距均可编程设定。PCB的定位则是利用定位孔或板边缘，有些设备甚至可利用视觉系统自行将PCB与印刷网板调成平行。当使用该类视觉系统时，便可免去边缘定位带来的误差，而且令定位变得容易，人工的定位确认为视觉系统所取代。图5-9所示为一全自动焊膏印刷机例子。



- PCB面积：508mm × 508mm。
- 6δ高性能可靠性。
- 自动、柔性、可编程的双面印刷定位机构（专利）。
- 二维图像检查系统、适时观察漏印板清洁度和焊膏、焊盘对位精度。
- 焊膏的自动优化涂布。

DEK 265GSx 全自动、高级焊膏印刷机

图5-9 全自动焊膏印刷机例

典型全自动焊膏印刷机一般都有视觉定位系统、擦拭系统、焊膏填涂系统等主要组成部分，并与之对应有比较全面的功能。例如，日本松下公司的SPCC焊膏印刷机，其特点简述如下：

（1）能自动清洁渗透到网板下的焊膏，以确保印刷高精度、高密度的线路图。

（2）能按照焊膏和铜箔的状态决定使用含溶剂的纸或干纸，以确保高质量的清洁工作。

（3）采用夹紧器定位方式，使机种的交换更加简便。

（4）PCB的定位采用定位销，这样印刷和贴片的相对位置的精度较高。

（5）可配备预先设定印刷次数的预置计数器和报警灯。

SPCC的主要技术规格见表5-4。

表5-4 SPCC的主要技术规格

| 型号 | 印刷速度 | PCB尺寸/mm | 刮刀压力/N | 网板框定位调整 | 清洁时间 | 电源 | 控制器 | 气压供应 | 外形尺寸/mm | 重量/kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NM-2628（M） | 20~25 s/片（据印刷条件不同） | 330 × 250（max）50 × 50（min） | 100~300 | X、Y方向 ± 10mm 旋转方向3° | 15~60s（据清洁方式不同） | 100 ± 5V 2.5kVA | Panadac 767 | 0.5MPa 40L/min | 1.55（长）× 1.170（宽）× 1.768（高） | 1 100 |
| NM-2628B（LL） | 23~28 s/片（据印刷条件不同） | 508 × 381（max）90 × 60（min） | 120~600 | X、Y方向 ± 10mm 旋转方向2° | | | | 0.5MPa 90L/min | 1.850（长）× 1.320（宽）× 1.758（高） | 1 300 |

### 5.2.2 点胶机

#### 1. 点胶机基本功能

点胶机是将固定SMC/SMD用的黏结剂涂敷到PCB上的黏结剂涂敷设备，由于其涂敷工艺采用的是注射点涂（焊胶）技术而得名。它是组成SMT组装系统或SMT生产线的主要设备之一。与点胶机原理相类似的还有点膏机，用于焊膏的点涂。点膏机与焊膏印刷机相比，有涂敷效率低、涂敷质量低的缺陷，实际生产中很少采用。而点胶机却普遍应用，成为SMT产品双面组装系统或生产线中不可缺少的配套设备。点胶机有手动、半自动、全自动和高速、低速等类型，目前，在SMT组装系统或SMT生产线中配置的点胶机一般均为全自动高速点胶机。

点胶机的基本功能为：采用注射点涂技术，将定量的黏结剂准确、快速地涂敷到PCB的各个指定位置上。全自动点胶机可完成包含PCB自动传送与定位在内的一系列自动操作，如图5-10所示，典型的全自动点胶机有下列基本功能：

（1）在线接受控制程序或调用系统已存储控制程序；

（2）将PCB自动传送到待涂敷位置，并用光学自动检测系统进行精确定位；

（3）黏结剂的自动补给和预热及维持恒温；

（4）点胶高度自动测试与自动调节；

（5）按控制程序自动完成点胶头快速移动和注射点涂等黏结剂涂敷系列动作；

（6）将涂敷完毕的PCB自动送出。

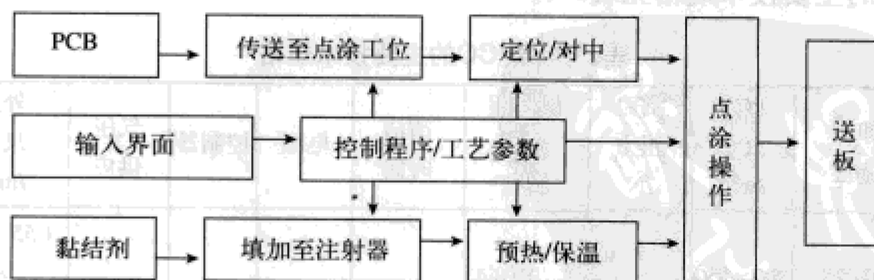



图5-10 全自动点胶机基本功能

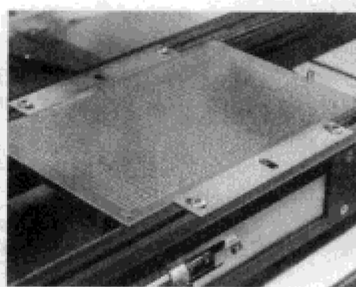
全自动点胶机的上述基本功能，由其主要功能部件PCB传送/定位、光学对中、焊胶预热/保温、焊胶注射泵与注射器、计算机控制系统、动力驱动装置等装置和系统分别或协调完成。图5-11是全自动点胶机及其部分功能部件示意图。

各种不同类型的点胶机，其组成和具体功能有差别。例如，点胶头和注射喷嘴可以是一个或多个；注射高度测试可以是机电方式或光学方式；注射泵可以是螺旋挤压式或气压式；焊胶预热/保温方法也有多种等等。点胶头是点胶机的关键部件，图5-12所示是几种不同形式的多喷嘴点胶头部件。

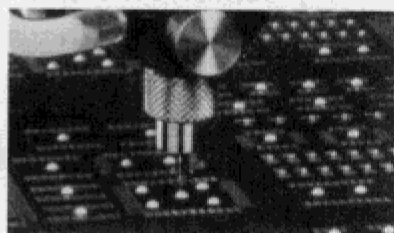
点胶速度、点胶精度、PCB传送/定位速度与精度、点胶头/喷嘴个数与种类、



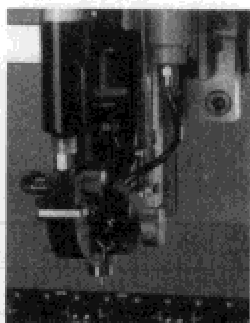
(a) 全自动点胶机外形



(b) PCB传送/定位



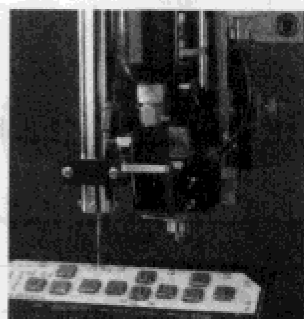
(c) 注射器（点胶头）



(d) 焊胶预热/保温装置

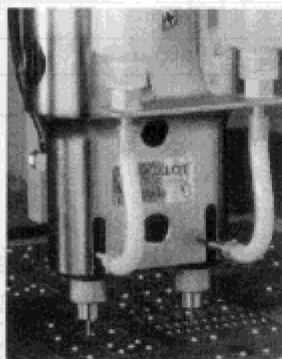


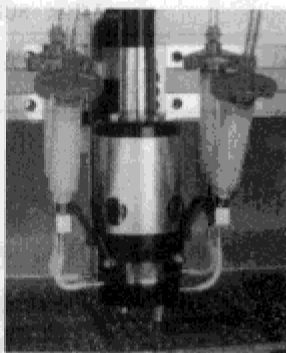
(e) 光学对中装置



(f) 注射高度测试装置

图5-11 全自动点胶机及其部分功能部件





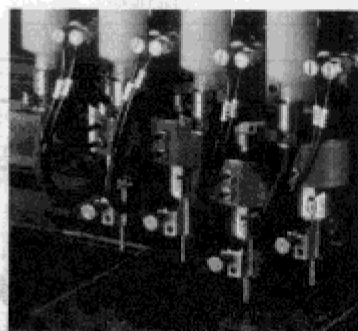


图5-12 几种不同形式的多喷嘴点胶头

胶量控制能力和稳定性等是衡量点胶机功能强弱的主要指标。目前使用的高速全自动点胶机，点胶速度已可达45 000点/小时以上。

2. 典型点胶机

HD3（NM-2626C）是日本松下公司为配合MK2型贴片机的点胶而开发的高速双头点胶机。它可高速准确地对两块PCB同时点胶，其特点是：

（1）可按SMC/SMD的形状选择最适当的胶点形状，配备有大、中、小三种点胶嘴。如图5-13所示。

（2）可任意设定点胶条件并进行多重点胶，从1608到SOP都能使用。

（3）有温度调节功能，以确保点胶量和黏度的稳定性。

（4）更换胶筒时装卸非常简便。

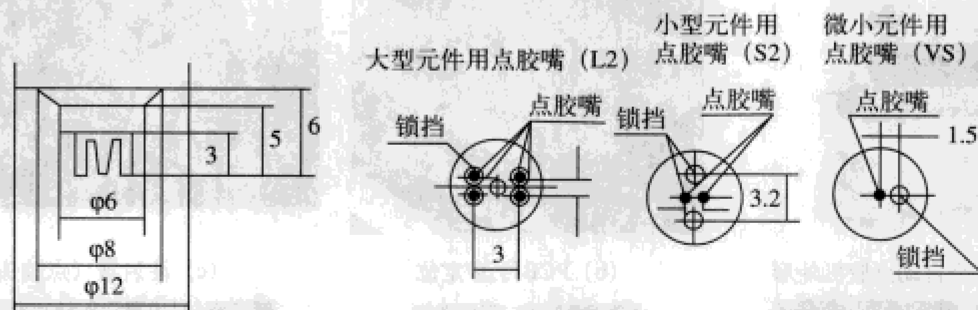



图5-13 点胶嘴

HD3型点胶机的技术性能见表5-5。

表5-5 HD3型点胶机的技术性能

| | |
|---|---|
| 点胶方向 | −85°~+90°（间距5°，36方向） |
| 点胶速率 | 0.28s/次 |
| PCB尺寸（mm） | 330×250（max）；50×50（min） |
| 控制器 | Panadac 771 |
| 程序步数 | 2 000/B程序 |
| 电源 | 100±5V，1.5kVA |
| 气压供应 | 0.5MPa，80L/min |
| 外形尺寸(mm) | 1 085（长）×805（宽）×1 405（高） |
| 重量（kg） | 360 |

## 5.3 焊膏印刷过程的工艺控制

焊膏是一种组成成分复杂的焊接材料，它具有流变特性和其他物理化学性能。在表面组装细间距等高要求下，其印刷过程涉及印刷机、焊膏、印刷用网版等各种错综复杂的因素和工艺参数，每个参数调整不当都会对组装质量产生很大的影响。所以，焊膏印刷比其他涂料的印刷复杂和易发生质量问题。在整个表面组装工艺中，应该将设定和控制焊膏的印刷工艺放在首要的位置。

### 5.3.1 焊膏印刷过程

焊膏印刷的工作过程大致相同，主要工序为：基板输入→基板定位→图像识别→焊膏印刷→基板输出。

（1）基板输入。基板从料架（上流方向）上传送到印刷机工作平台。

（2）基板定位。一般在基板与印刷网板贴紧的基础上来固定基板，常以压紧基板一侧的方式进行定位。如果在基板不平的情况下加以固定时，可以通过基板上面的压力进行校正。当基板的厚度小于0.8mm时，采用侧面固定方式会导致基

板的变形，这种场合可利用真空吸附基板反面的方式进行定位，与之相应的印刷机工作台面应该设置有吸附基板的定位支撑板。

（3）图像识别。为使基板在工作台面准确定位，一般需设置两处以上图像识别基准标记，用于光学摄像对位。在摄像头（CCD）识别基板位置时，可以和印刷网板的位置识别重合进行，操作时可以采用摄像头移动识别方法。图5-14示意的是工作台移动标记位置识别方式和处理过程流程图，它通过工作台内设置的半闭环控制伺服电机驱动的$x$-$y$-$\theta$修正用轴来完成识别动作。图中$P$和$M$分别为网板和基板二个识别标记的连线。

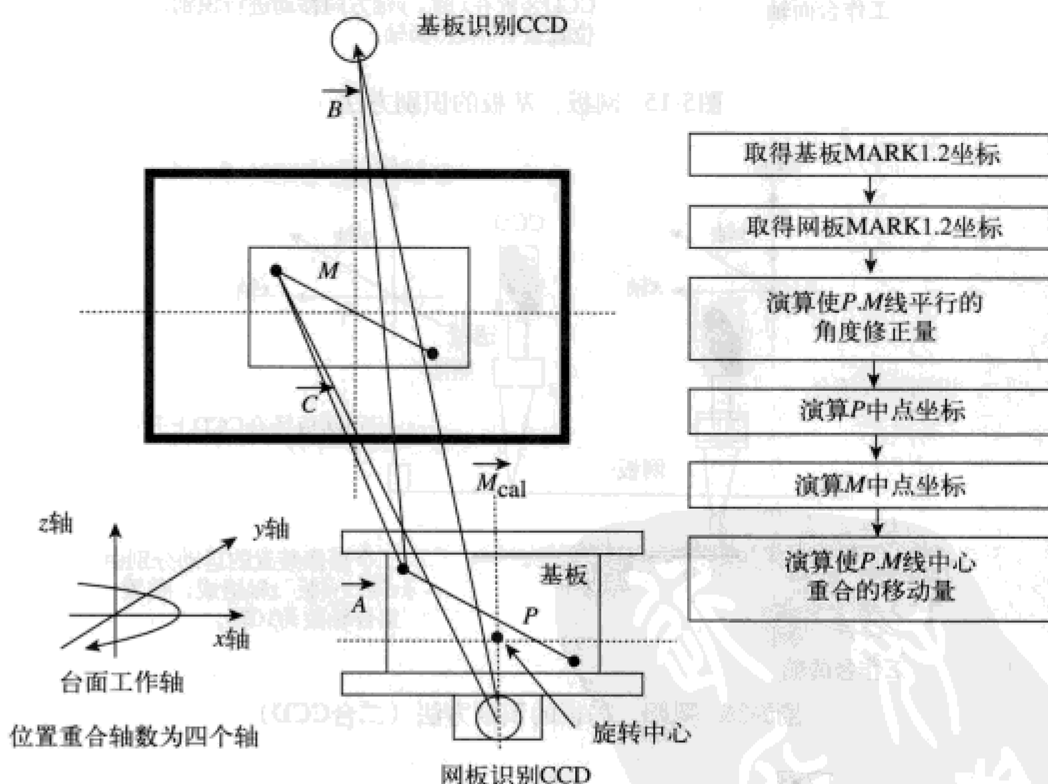



图5-14　标记位置重合的识别方法

图5-15所示的识别方法中，网板识别CCD和基板识别CCD的位置关系十分重要，应作为内部测定参数给予保存。图5-15示意的是网板和基板间CCD的配置及其移动识别方法。另外，还有在设备上方设置二台CCD和设置一台CCD的识别方式之分，分别如图5-16和图5-17所示。表5-6表示的是通过图5-16方式识别的印刷机位置的确定精度，表5-6中数值表示了位置精度的重现性，实际印刷时的位置精度是基板、网板相对制作精度的叠加。位置的重合精度还与确定位置精度时所使用的运动坐标轴数有关，通常在确定位置精度时使用的坐标组合轴数较少时，可以提高位置的重合精度。

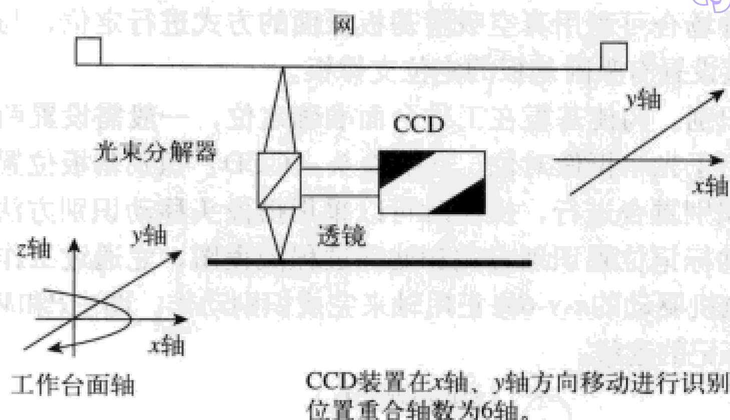



图5-15 网板、基板的识别方法

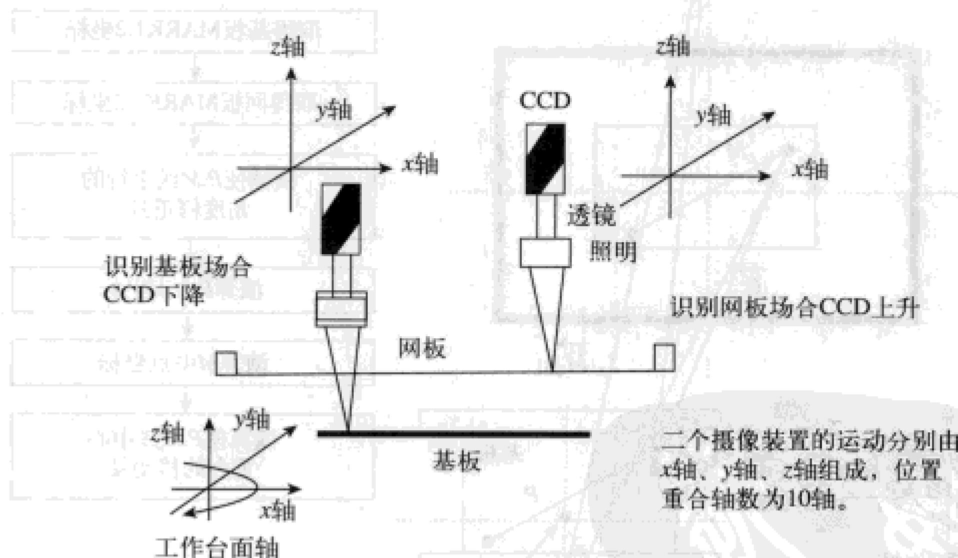



图5-16 网板、基板的识别方法（二台CCD）

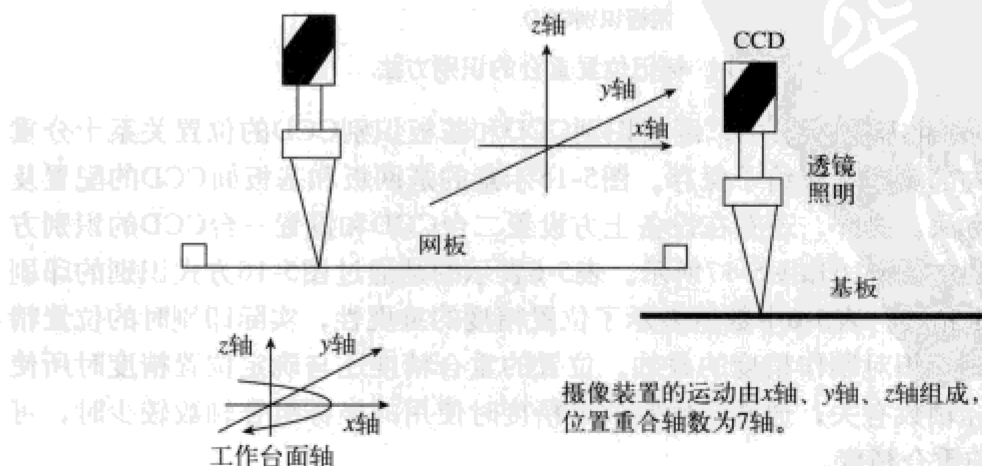



图5-17 网板基板的识别方法（一台CCD）

表5-6 印刷机的位置重合精度

| | 项 目 | 精 度 | 测试根据 |
|---|---|---|---|
| 1 | $x$轴重现性 | ±1.0 | 高速重现性实测值 |
| | $y$轴重现性 | ±1.0 | 高速重现性实测值 |
| | 基板识别CCD | ±2.5 | 1/4像素 |
| 2 | $x$轴重现性 | ±1.0 | 高速重现性实测值 |
| | $y$轴重现性 | ±1.0 | 高速重现性实测值 |
| | 网板识别CCD | ±2.5 | 1/4像素 |
| 3 | 演算误差 | ±1.0 | 电机分辨率 |
| 4 | $x$轴绝对精度 | ±5.0 | 实测值 |
| | $y$轴绝对精度 | ±5.0 | 实测值 |
| | $\theta$轴绝对精度 | ±5.0 | 实测值 |
| | 综合位置精度 | ±9.6 | 几何平均法 |

（4）焊膏印刷。金属网板印刷工艺大致可分为图5-18所示的两步，第一步是通过印刷刮刀的移动将焊膏向网板转移；第二步是基板和网板分离。在焊膏的印刷过程中，如果刮刀的端部对网板表面施加的印刷压力是均匀的，那么这种状态是理想的印刷状态。常采用刮刀头部的浮动机构（如图5-19所示）来实现对网板实施均匀

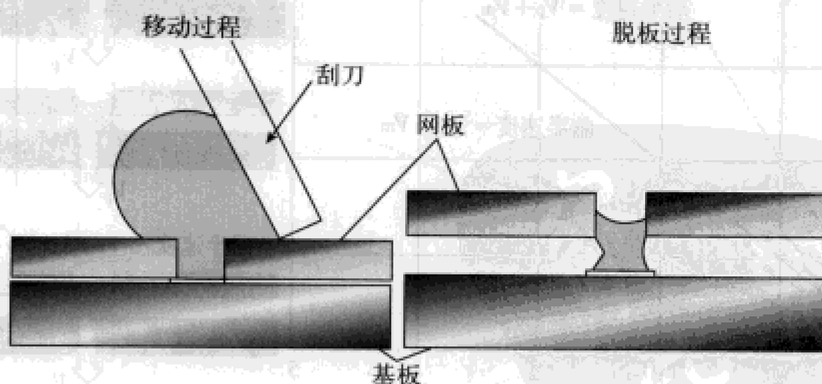



图5-18 焊膏印刷工艺

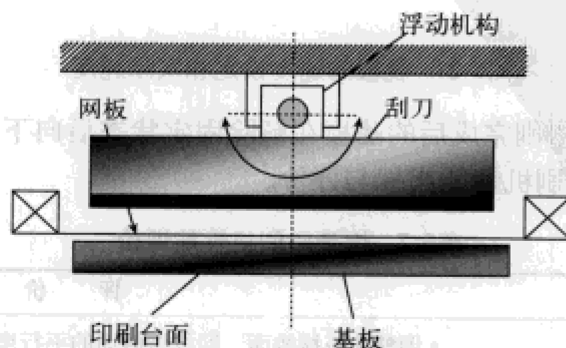



图5-19 印刷机的浮动机构

压力的印刷，利用这种浮动机构，还可以使基板中心和刮刀中心具有一致性。如果基板中心和刮刀中心发生偏错，刮刀将倾斜，由此产生的"存入不良"会在网板表面留有焊膏残留物，进而造成印刷性能的劣化。这时可以通过如图5-20表示的浮动机构，及时调整与基板的平行度，以保持良好的印刷状态。

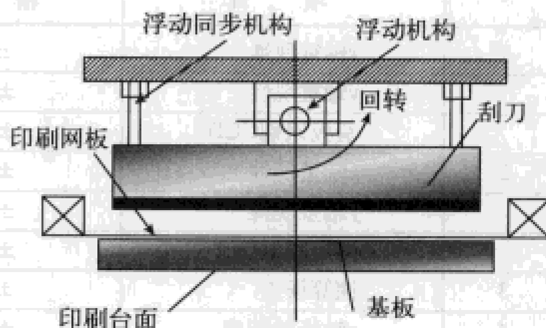



图5-20　印刷机浮动机构的同步功能

脱板过程通常采用低速控制，使基板与网板顺利分离，焊膏完好地复制到基板焊区。可以通过精密控制的伺服电机和脉冲电机来完成脱板速度控制。需要注意的是常用网板的厚度一般在100μm～200μm范围，由于焊膏的黏结力会使其产生松弛现象。为此，脱板时的前半期由于网板的抗伸张力，设定的速度可以慢些，而后半期正好相反，速度可快些。图5-21显示的是网板与焊膏的相对速度等。

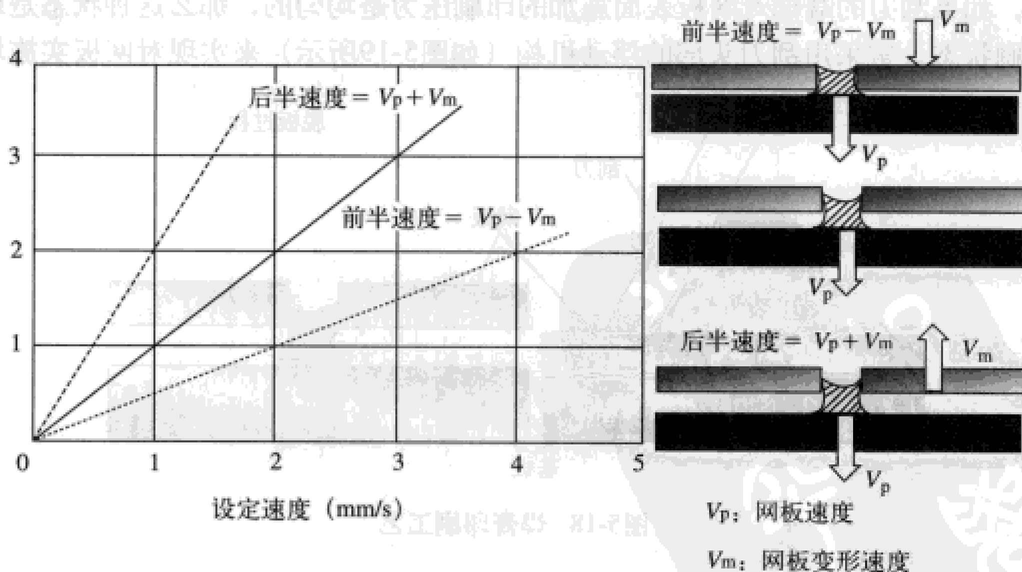



图5-21　脱板的速度设定和实际速度

（5）基板输出。印刷完成后的基板在解除固定状态后向下一个工序输出。

表5-7列出的是印刷机性能指标与评价。

表5-7　焊膏印刷机性能评价

| 性　　能 | 评　　价 |
|---|---|
| 网板、基板的贴紧性 | •调整基板接触面、网板接触面的平行度 |
| 位置重合精度 | •一般位置重合轴数少的机型位置精度高 |

（续）

| 性　能 | 评　价 |
| --- | --- |
| 方式的转换性 | • CCD分辨率高的机型精度高<br>• 图像处理方法（多变量图像选配方法比双位置重心识别方法的精度要高）<br>• 能够转换的项目少的自动化装置性能好<br>• 可对基板的厚度自动调整，对不同的印刷性能可自动调整的装置比较好 |
| 条件设定 | • 可设定的项目少的自动装置性能较好。对刮刀速度、脱版速度、距离、印刷压力的调整可设定最低限度的装置性能好<br>• 对影响印刷性的因素可以自动调整的装置性能好 |
| 生产性 | • 对一系列动作处理时间短的装置性能好 |

## 5.3.2 焊膏印刷的不良现象和原因

（1）位置偏移不良。图5-22示意了焊膏印刷过程中焊膏是在刮刀移动的前方网板开口部进行充填和成形的。如果对开口部施加的压力小，很可能在开口部内靠后边一侧存在空气。特别是QFP类四边有引脚的器件，不同方向引脚对应焊区的方向不同，所产生的印刷性能也不同，更易产生该类问题。有时尽管印刷机的重合精度很好，但焊膏印刷后却有位置偏移现象，这正是由空气生存现象引起的。因为在对着刮刀行进方向后侧生存的印刷空间，其结果正像是在焊区上形成偏移性印刷。纠正这种现象的措施是加强对网板内的印刷压力，另外还可检查一下焊膏的特性是否符合要求。

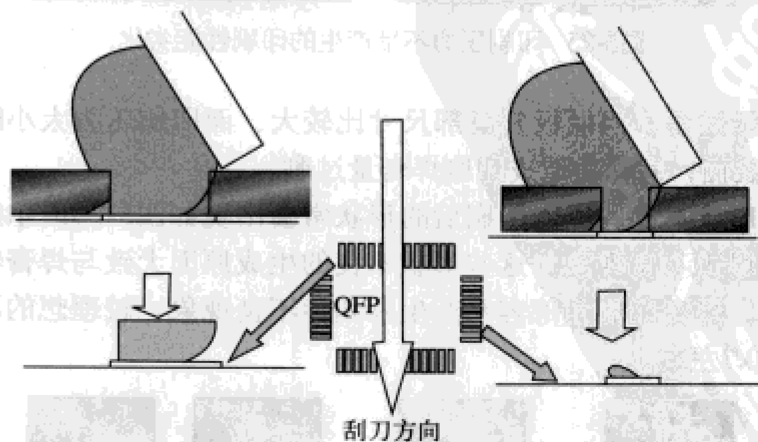



图5-22　印刷图形方向和生存的印刷空间

（2）焊膏量不足。网板开口部的尺寸过小，可能会造成焊膏量不足。但是，如果网板开口部的尺寸较大，而且印刷压力也过大则会出现如图5-23所示的情况，即刮刀的端部会切入开口部，使焊膏量减少。在微间距印刷时，如印刷压力过高，也会由于刮刀端部的切入（产生挤压性），使焊膏中的焊剂成分渗溢到网板的反面

而产生不良现象（如图5-24所示），并会使焊膏黏度上升从而造成脱板过程的恶化。如产生上述情况，应及时观察网板反面的渗溢状况，适当地调整印刷压力。同样，在微间距组装印刷时，如果印刷压力过低，也会产生如图5-25所示的在网板上面残留焊膏现象，并形成一种阻力使脱板过程劣化。

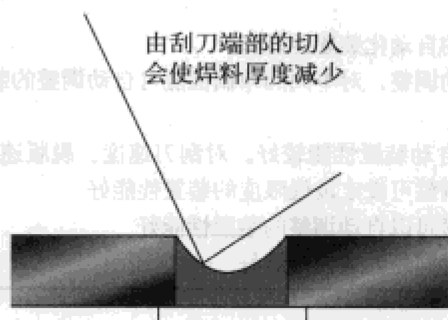



图5-23 由于刮刀端部的切入造成焊膏量的减少

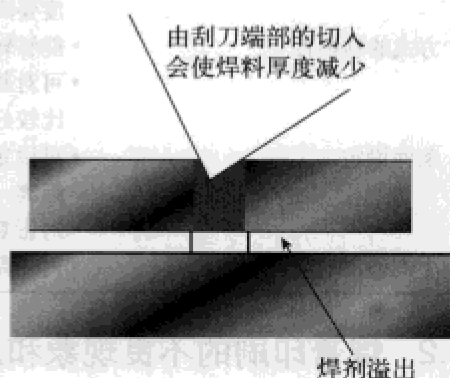



图5-24 由于刮刀端部切入产生焊剂的溢出

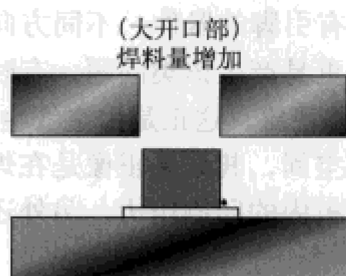






图5-25 印刷压力不足产生的印刷性能劣化

（3）焊膏量过多。当网板开口部尺寸比较大、而印刷压力太小时，将会有焊膏残留在网板表面，同样会造成印刷焊膏量过剩。

（4）印刷形状不良。焊膏印刷后的形状常会出现如图5-26所示的角部延展现象，或者出现塌边不良现象。这些形状不良的生成原因大致与焊膏特性有关，触变系数偏小时，焊膏印刷角部容易产生圆角性不良现象，较理想的印刷状态应该是触变系数在0.7左右。

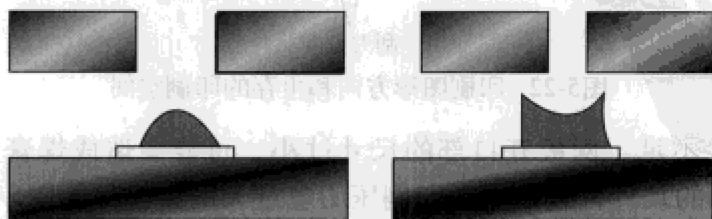


图5-26 印刷压力不足产生印刷性能劣化

（5）焊膏渗溢与桥连。接触式印刷中，在印刷网板与基板焊区的贴紧性不太好的情况下，由于存在着间隙，焊膏印刷时会渗流到网板的反面，尤其在焊膏的黏度偏低时容易发生这种现象。如果不及时清除滞留在网板反面的焊膏，更会影响基板与网板的贴紧性，同时会使设定的焊膏印刷量增加，从而产生桥连现象。此外，由于刮刀端部与网板的摩擦过大，对网板会形成一种拉力，也会形成焊膏渗溢现象，这时应该适当降低印刷压力。

部分焊膏印刷不良的原因可参阅表5-8。

**表5-8 焊膏印刷不良的原因**

| 问　题 | 原　因 |
|---|---|
| 位置偏移 | •装置本身的位置精度不好 |
| 焊膏量不足 | •焊膏印刷时进入网板开口部的均匀性差<br>•由刮刀及其摩擦因素对网板形成的一种拉力不良<br>•因印刷压力过大对网板开口部生成一种挖取力所致<br>•因印刷压力过大引起其中的焊剂溢出，产生脱板性劣化<br>•因印刷压力不足，焊膏滞留网板表面造成脱板性劣化 |
| 焊膏量过多 | •由于印刷压力不足，网板表面留存的焊膏残留会使印刷量增加<br>•焊膏渗流到网板反面，影响网板的紧贴性，使印刷量增加 |
| 印刷形状不良（圆角、塌边） | •焊膏的$n$值偏大（触变系数太小） |
| 焊膏渗透 | •基板与网板紧贴性差<br>•印刷时压力过大会产生焊膏的溢出<br>•由刮刀及其摩擦因素对网板形成的一种拉力所致 |

## 5.3.3 印刷工艺参数及其设置

（1）刮刀速度。在印刷过程中，焊膏需要时间滚动并流进网板的孔中，所以刮刀刮过模板的速度控制相当重要。最大印刷速度取决于PCB上SMD的最小脚距，在进行高精度印刷时（脚距≤0.5mm），印刷速度一般在20mm/s~30mm/s。刮刀速度对于网板开口部焊膏的压力评价关系（焊膏转移深度评价）示例如图5-27所示。

（2）刮刀角度。刮刀角度和转移深度的关系如图5-28所示。通常刮刀角度小形成的转移深度就深，根据图5-29所示的焊膏印刷时的供给量（用Rolling直径表示）说明转移深度的变化很大。换言之，使用角度小的刮刀印刷时，焊膏印刷量是其重要的控制因素。图5-30表示的是刮刀角度和界限印刷压力关系，所谓的界限印刷压力，是指印刷网板上不发生焊膏残留状况下的压力界限值。角度小的刮刀，造成的界限压力就大。这里通过相关的评价函数，用转移系数（转移深度/界限压力）来表示与刮刀角度间的关系，其试验曲线如图5-31所示。图5-31说明，刮刀角度在60°~70°范围时，通过适当印刷压力，可获得最佳的印刷效率和转移性。

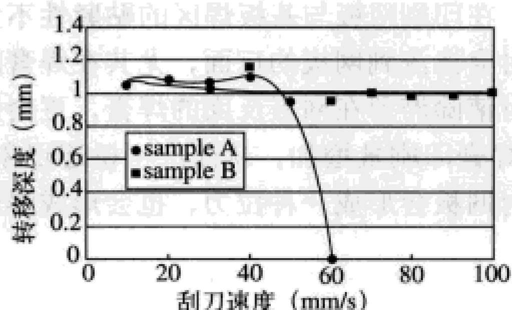



图5-27 刮刀速度和转移深度

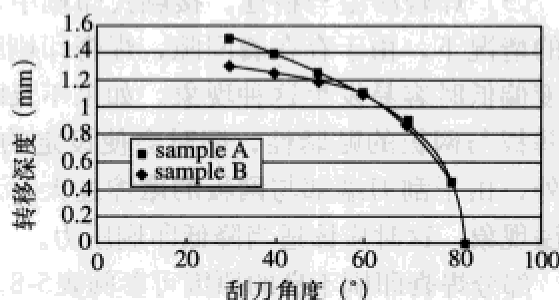



图5-28 刮刀角度和转移深度的关系

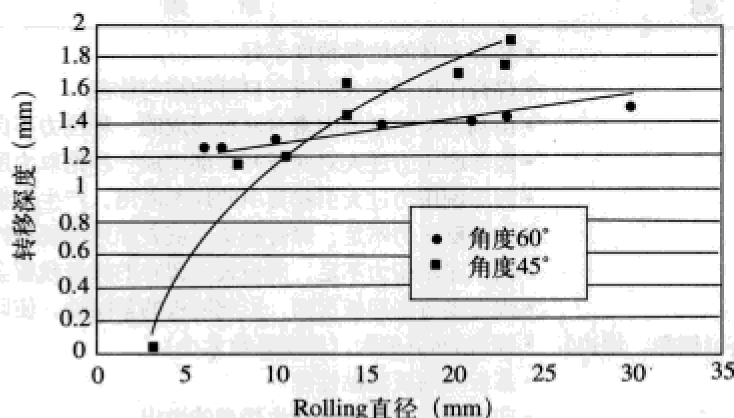



图5-29 焊膏量和转移深度

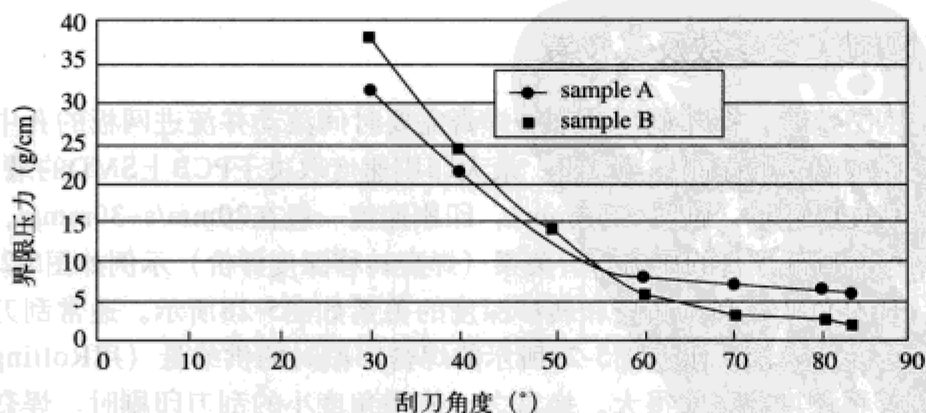



图5-30 刮刀角度和界限印刷压力关系

（3）印刷压力。刮刀压力的改变对印刷质量影响重大。压力太小，导致PCB上焊膏量不足；压力过大，则导致焊膏印得太薄。在理想的刮刀速度及压力下应该正好把焊膏从模板表面刮干净。在实际操作中，为消除印刷基板上的挠曲、起伏因素，一般都希望提高设定印刷压力，来实现焊膏的均匀性印刷。特别是采用支撑顶杆方式支持基板定位的，由于顶杆本身的机械刚性低，会因为焊膏滚动时

的反力造成基板的挠曲（如图5-32所示）。在有挠度的部分，由于刮刀端部与网板间存在的间隙，印刷时将会使焊膏残留于网板表面。为防止这种不良现象的产生，应该加强支撑基板的顶杆数，加大基板与刮刀的接触面；也可适当提高印刷压力，使印刷时刮刀对网板开口部有微量的切入，从而得到较好的效果。

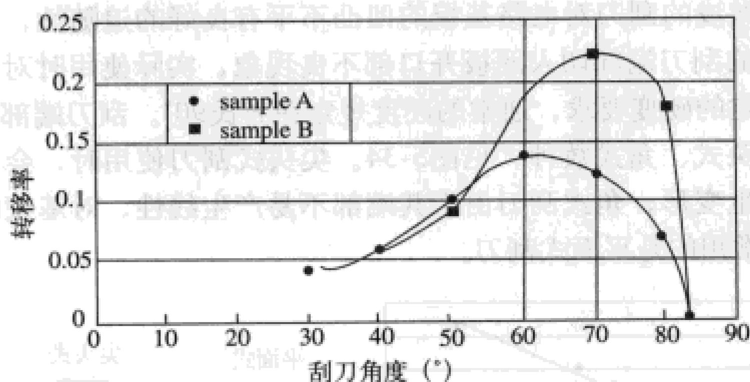



图5-31 刮刀角度和界限印刷压力关系

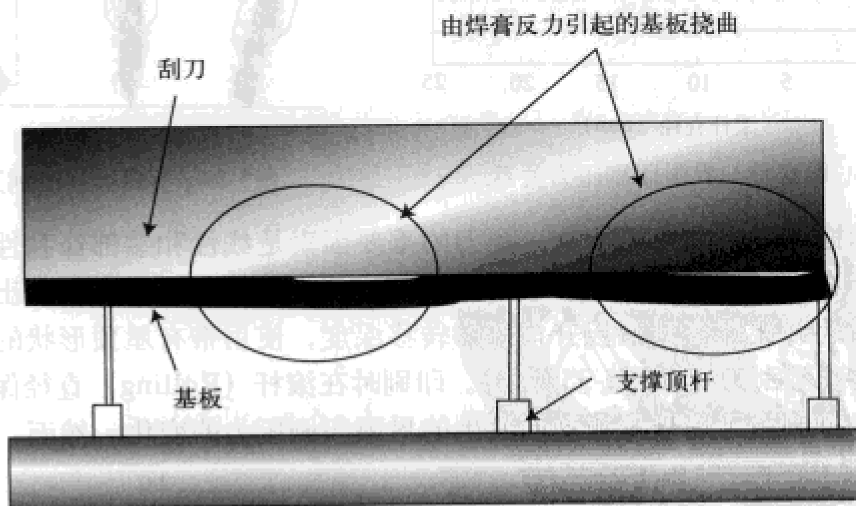



图5-32 通过支撑杆支持基板的印刷方式

（4）焊膏的供给量。从图5-29可看出焊膏的供给量与转移深度的变化关系，当刮刀角度为60°时，转移深度变化最小。如图5-33所示，界限印刷压力随着焊膏量增加而加大。在生产场合随着焊膏量的减少，往往想通过微调印刷压力来获得稳定的印刷状态，实际上是很困难的，一般都是以焊膏量多的状态来设定印刷压力，进行无调整式生产。生产时使焊膏量保持在一定的范围内，利用自动供给装置实现自动化焊膏印刷，并且使自动印刷机带有焊膏量检测及印刷压力反馈控制的功能，从而实行无缺陷印刷。

（5）刮刀硬度、材质。印刷用刮刀通常都采用合金、聚酯橡胶等做成，合金

材料做的刮刀因其硬度高，不会像聚酯橡胶类刮刀那样切入网板开口部，在印刷压力设定后，印刷中不会产生大的质量问题。但是，在印刷中随着这种刮刀与网板摩擦力的增加，会因为网板的延展发生印刷位置偏错、渗溢和增加网板本身的磨损。

聚酯橡胶做成的刮刀对电路基板的凹凸不平有良好的追随性，只是因为会发生印刷过程中的刮刀端部切入网板开口部不良现象，实际使用时对聚酯橡胶型刮刀都提出了一定的硬度要求，通常的硬度规定在布氏90°。刮刀端部的形状常见的有平面式、尖头式、角式数种，见图5-34。尖头式刮刀使用时，会由于焊膏的滚动力在端部发生变形，角式刮刀由于其端部不易产生线性，对基板的凹凸追随性较差，目前最常用的是平面式刮刀。

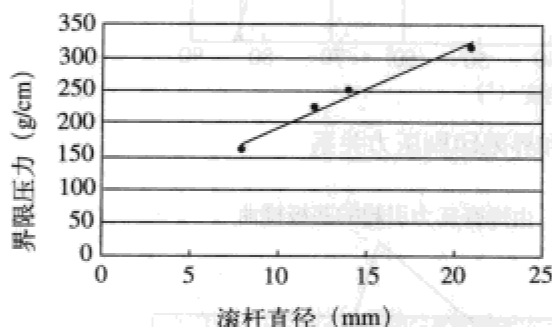


图5-33 焊膏量与界限印刷压力关系

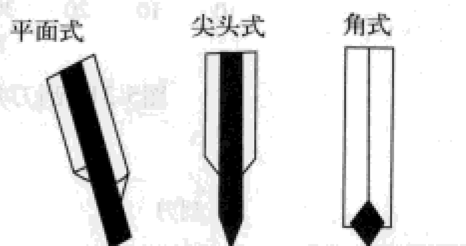


图5-34 不同形状的刮刀

在聚酯橡胶型刮刀使用场合，刮刀的重要因素是线性和端部锋利性。如果说线性很差，在端部磨损后，会影响到印刷压力的上升或者在网板表面出现焊膏的残留。有时为强化焊膏对网板开口部的转移深度，使用带有屋顶形状的、能加强转移力的特殊型刮刀（如图5-35所示）。印刷时在滚杆（Rolling）直径保持恒定情况下，可以抑制由于焊膏量变动而发生的界限印刷压力的变化。然而，带有屋顶

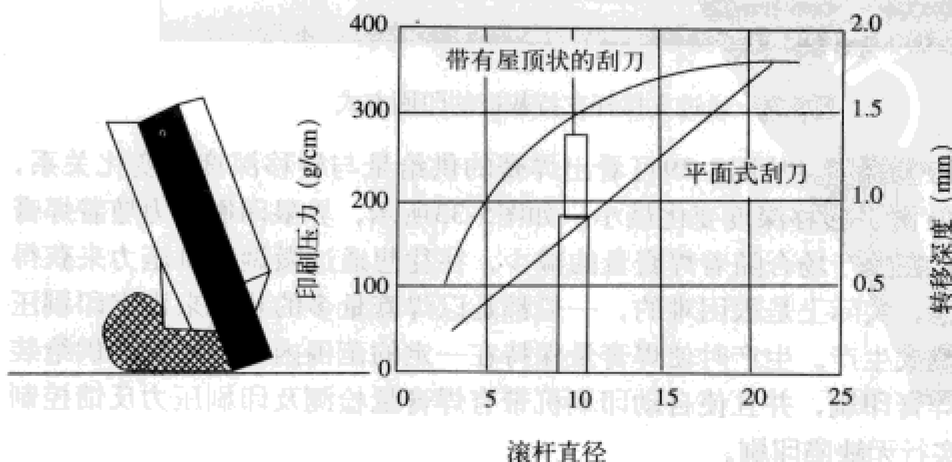


图5-35 带有屋顶状的刮刀

状的刮刀在使用中与焊膏的接触面积大，容易与焊膏粘住，对某些品种焊膏可能不太适用。

另外，刮刀的硬度也会影响焊膏厚薄，太软的刮刀会使焊膏凹陷。

（6）切入量。为了控制印刷中刮刀尖端部对网板开口部的切入量，在调整合适压力的同时，应保证刮刀的移动平面与基板面的共面性。当共面性不大好的情况下，如采取图5-36所示的浮动式刮刀机构，调整压力并不能获得好的印刷状况。为此，在进行切入量设定时，可不必考虑由浮动式刮刀机构来实行印刷压力的调整控制。

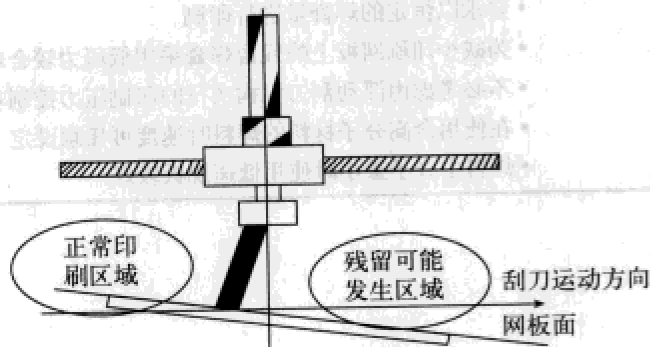



图5-36 切入量调整机构的问题

（7）脱板速度。印制板与模板的脱离速度也会对印刷效果产生影响，理想的脱离速度如表5-9推荐。

**表5-9 推荐的脱板速度**

| 引脚间距 | 推荐速度 |
|---|---|
| 少于0.3mm | 0.1mm/s~0.5mm/s |
| 0.4mm~0.5mm | 0.3mm/s~1.0mm/s |
| 0.5mm~0.65mm | 0.5mm/s~1.0mm/s |

（8）印刷厚度。模板印刷的印刷厚度基本由模板的厚度决定，并与焊膏特性及工艺参数有关。模板厚度与SMD引脚间距密切相关，当脚距为0.3mm时，模板厚度一般取0.1mm，印刷后焊膏厚度约为0.09mm~0.1mm；当脚距为0.5mm时，模板厚度一般取0.15mm，印刷后焊膏厚度约为0.13mm~0.15mm。印刷厚度的微量调整，一般是通过调节刮刀速度和刮刀压力来实现。

（9）模板清洗。在焊膏印刷过程中一般每印10块左右PCB就需对模板底部清洗一次，以清除其底部的附着物，通常采用无水酒精等溶剂作为清洗液。

表5-10汇总了部分印刷参数的设置方法。

表5-10 焊膏印刷参数的设置

| 参　数 | 可考虑的最适化方法 |
| --- | --- |
| 刮刀速度 | •印刷中焊膏与印刷网板不存在转差，或者确定在一个任意的程度，这时速度偏慢的印刷形状就好 |
| 刮刀材质、形状 | •布氏硬度为90°的平面式聚酯橡胶刮刀性能良好<br>•刮刀尖端的线性与锋利性很重要<br>•使用合金型刮刀时要注意到印刷网板的磨损程度 |
| 刮刀角度 | •角度在60°~70°时可得到良好的印刷性和转移性<br>•角度大的话，由于焊膏量的因素转移力会发生少许变化 |
| 焊膏量 | •要求以恒定的焊膏量进行印刷 |
| 印刷压力 | •为减少印刷网板上的残留焊膏采用低压力较合理 |
| 切入量 | •不必考虑由浮动刮刀机构实行的印刷压力控制功能 |
| 脱板速度 | •在使用含高分子材料的焊料时速度可任意设定<br>•焊料中分子量小时使用低速脱板较好 |

# 第6章　贴片工艺与设备

## 6.1　贴片原理与设备

### 6.1.1　贴装方法和原理

贴装一般采用贴装机（也称贴片机）自动进行，也可借助辅助仪器和设备进行人工或半自动化贴装。无论用什么方法进行贴装，都需要保证以下几点：

（1）确定的芯片来源位置；

（2）合适的芯片拾取和释放方法；

（3）芯片在PCB指定位置上的精确定位；

（4）芯片在PCB指定位置上的可靠黏结和固定。

其中芯片在PCB指定位置上的可靠黏结和固定由焊膏或贴装胶来保证，其他几点均借助贴装设备和焊接设备予以保证。由于表面组装芯片的微型化，即使是特殊场合的人工贴装，也需借助光学放大设备、芯片拾取专用工具等辅助装置进行。

所以，表面组装芯片的贴装是借助贴装机等贴装设备的芯片自动供料和拾取、PCB和芯片的自动精确对位等功能，以及焊膏或贴装胶的黏接作用而实现的。贴片定位精度、贴片速度、可贴芯片的种类等是贴片的技术和贴装设备的关键指标。

### 6.1.2　贴装机结构与类型

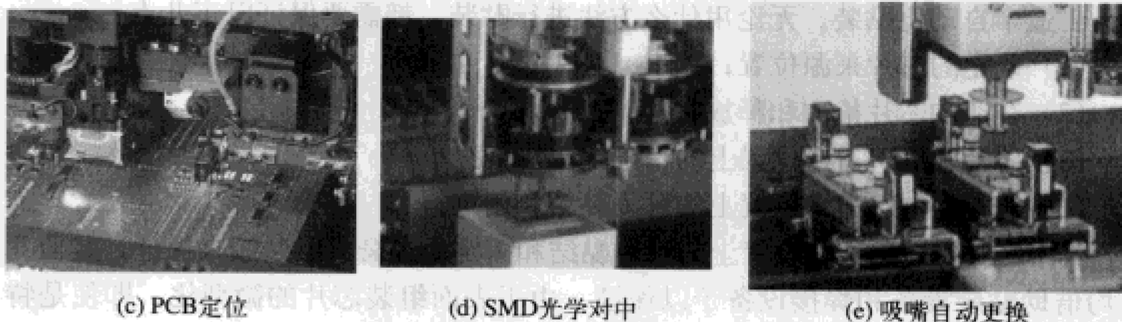
贴装机是SMT生产线中最关键的设备，它是一种由计算机控制的自动拾取和贴装SMC/SMD的机器人系统。贴装机有多种规格类型，图6-1是一种全自动贴装机示意图，图6-2是其基本功能示意。它将SMC/SMD从料盒中取出，经过判定整形后，将SMC/SMD传递到PCB上，按要求贴装，并判定贴装是否合格。其基本功能可概括为：在不对SMC/SMD造成任何损坏的前提下，完整、稳定、准确、快速、可靠地拾取所需SMC/SMD，并按程序要求稳定、准确、快速、可靠地将其贴放在PCB指定的位置上。

**1. 贴装机的结构**

贴装机由贴装头（含$x$-$y$-$z$-$\theta$-定位爪，亦称机械手）、元器件送料系统、PCB传输定位系统三个主要机械机构组成，并由计算机控制系统、气动系统和视觉对中系统进行信息处理和控制。




(a) 自动贴片机外型 (b) 贴片工作区



(c) PCB定位 (d) SMD光学对中 (e) 吸嘴自动更换

图6-1 全自动贴片机的基本组成

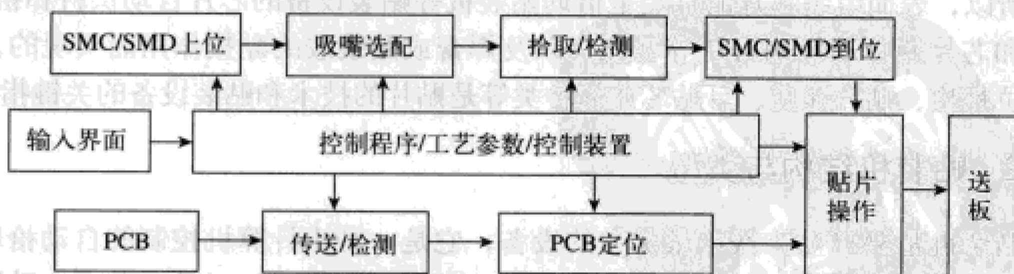



图6-2 全自动贴片机基本功能

贴装机各部分的功能简述如下。

机体（底座） 支撑全部部件，应具有足够的刚性；

供料器 容纳各种包装形式的元器件，并把元器件传送到取料部位；

**PCB定位工作台** 夹持PCB并使其在$x$轴和$y$轴方向正确定位；

贴装头 从供料器中拾取元器件，经定心和方位校正后，把元器件精确贴放到PCB的设定位置。它与供料器一起决定贴装机的贴装能力，是贴装机上最复杂、最关键的部位。

贴装头由贴装工具（真空吸嘴）、定心爪、其他任选件（如滴放器）、电测试夹具和摄像头等部件组成。其中贴装工具是贴装头的心脏，它除了拾取和贴放元

器件，还应在拾取和贴放期间牢固地吸住元器件。

如图6-3所示，贴装头有多种组成形式。它是一个多吸嘴组合件，不同规格的吸嘴用于不同外型和规格的SMC/SMD的拾取，功能强的贴片机具有吸嘴自动更换功能。大多数贴片机的贴片操作都由贴装头在固定的PCB *x-y*平面上方快速移动和定位，吸嘴在*z*方向快速吸取或释放SMC/SMD而完成。转换某吸嘴到工作位置上的方式有移动式，如图6-3b所示；水平旋转式，如图6-3c所示；垂直旋转式，如图6-3d所示。


(a) 多头组合式　(b) 多吸嘴阵列式　(c) 水平旋转式　(d) 垂直旋转式

图6-3 贴装头的几种形式

定位系统 影响贴装精度和贴装率。目前一般用直流伺服电机驱动，齿形带或滚珠丝杠传动。

计算机控制系统 贴装机的“大脑”，所有贴装操作的指挥中心。

**2. 贴装机的类型**

按照不同的目的，贴装机有不同的分类方法。

(1) 按贴装方式分类

可将贴装机分成顺序式、在线式、同时式和同时/在线式四种类型（如表6-1所示）。

**表6-1 贴装机按贴装方式分类表**

| 贴装方式 | 特 点 | 应用范围 | 例 子 |
|---|---|---|---|
| 顺序式 | 按程序逐只顺序贴装SMC/SMD。可根据PCB图形的变更，调整贴装程序。适应性强 | 适应于多品种，小批量到中批量生产 | 松下MQ2<br>三洋TCM-31 |
| 同时式 | 使用专用料盘供料，通过模板一次性地同时将多只SMC/SMD贴放在PCB上。贴装率高。更换PCB品种困难，时间长 | 适用于少品种，大批量生产 | 松下MM |

（续）

| 贴装方式 | 特点 | 应用范围 | 例子 |
| --- | --- | --- | --- |
| 在线式 | 一系列顺序式贴装机排列成流水线，中间用传送机构连接，PCB由传送机构传送，每到一台贴装头下就贴装一个或几个元器件。结构简单，系统贴装率高，但设备占地面积大，投资大 | 适用于PCB上元器件数量少而又大批量生产的电路组件 | 美国Quad |
| 同时/在线式 | 同时式贴装机组成流水线，一组一组地贴装SMC/SMD。贴装率高，组成海量贴装系统，总产量高 | 适用于大批量生产 | 飞利浦MCM-111 |

①顺序式

大多数贴装机都采用顺序式，即按预先编好的顺序逐只元器件进行贴装。这种贴装机从结构上又可以分成两种类型：一种是工作台固定，贴装头在程序控制下沿$x$轴、$y$轴、$z$轴移动，完成贴装周期。这类贴装机通常能以1 500～6 000只/h的贴装率贴装各种包装类型的元器件；另一种是工作台在程序控制下沿$x$轴、$y$轴移动，整个贴装工具装在一个转盘上，以一定速度旋转，同时完成贴装周期，即高速贴装机。若按用途，顺序式贴装机还可以分成四种类型：入门级贴装机、通用贴装机、高速贴装机和高精度贴装机。

顺序式贴装机的优点是通用性强、适应面广、产品更换容易、更换产品时只需改变程序即可。

②同时式

同时式贴装机按贴装位置排列着许多贴装头，同时将模板内的SMC/SMD全部贴装到PCB上，故一次可贴装若干SMC/SMD。它适用于大批量生产，但更换PCB时重新配置十分困难。

采用许多这种贴装头组件可以组成同时/在线式贴装系统，具有非常高的贴装率，所以也称为海量贴装系统。不过，这种贴装机只能贴装片式元件和分立半导体器件。

③在线式

在线式贴装机由很多位置固定的单头贴片机构排成流水线，PCB在传送轨上行进，每到一个位置，贴装头就在相应的贴装点上贴装规定的SMC/SMD，贴装头的个数与贴装的SMC/SMD数量相等。这种贴装生产线就叫在线式贴装系统。采用这种贴装系统可获得很短的贴装周期。这种系统在进行连续生产时，一个或几个贴装周期后将会有一块PCB完成全部SMC/SMD的贴装。

但这种贴装系统只对拥有少数元器件的PCB并且要求高产量时，才是经济的。对于拥有大量元器件的PCB组件，只有当其生产量高到足以维持和超过设备的连续操作费用时，才有可能采用在线式贴装系统。

（2）按贴装速度（贴装率）分类

按贴装速度贴装机可分为低速、中速、高速和海量贴装系统（贴装率大于

20 000只/h)。

①低速贴装机

低速贴装机的贴装率低于3 000只/h，贴装循环时间一般低于1s/点，一般用于产品试制、新品开发、小批量生产及特殊SMC/SMD贴装。

②中速贴装机

中速贴装机的贴装率一般为3 000~8 000只/h，贴装循环时间一般在1~0.5s/点，它适用于SMC/SMD范围较宽，选、配件丰富，功能完善，具有较高的的贴装精度，又具有一定的生产效率的场合。另外设备的性能价格比适中，是中小批量生产的优先选用设备。

③高速贴装机

高速贴装机的贴装率为8 000~20 000只/h，贴装循环时间小于0.4s/点。它生产效率高，适宜大批量生产，特别适用于大量使用片式电容器、片式电阻器、小型SMD而少量使用特殊SMD的生产。

(3) 按价格分类

①低档：从几万美元到十万美元。

②中档：从十万美元到二十万美元。

③高档：大于二十万美元。

(4) 按位置系统分类

按位置系统贴装机可以分为三种：

①过顶拱架型（overhead gantry-style）系统，也称为叫做笛卡儿型（Cartesian）系统；

②转塔型系统（turret system）；

③大规模平行型系统（massively parallel system）。

每个位置系统都有优点和缺点，看其应用或使用的工艺，通常在速度与精度之间有一个权衡。

过顶拱架型系统在广泛的元件范围上提供较大的灵活性和精度，但速度不能与转塔型或大规模平行系统相比。由于元件范围变得更加集中在有源元件（active device）上，如引脚型QFP（quad flat pack）和BGA（ball grid array）类区域排列（area-array）元件，贴装精度对获得更高的合格率变得更为关键。转塔和大规模平行系统通常不适合于这些类型的元件。

转塔型系统由于有一系列的各自转动的贴片头而达到相当高的速度。然而，对贴片过程关键的是送料方式，在高速机上是有限的，因为这些机器不能从矩阵托盘上拾取元件或从粘性带上拾取裸装芯片。甚至在质量方面，高速机可能是质量问题的来源。因为他们的基本结构要求机板和送料器移动到贴片头位置，准确性被打折扣（当机板移动时，元件也可能会跟着移动)。另外,对细引脚间距元件或倒装芯片的应用，由于其原本的设计，高速机不能实现必要的贴片精度，这是那

些有成本效益的电路装配所需要考虑的。

大规模平行系统使用一系列小的单独的贴装单元。每个单元有自己的丝杆位置系统，安装有视觉系统和贴装头。每个贴装头可吸取有限的带式送料器，贴装PCB的一部分，PCB以固定的时间间隔在机器内步步推进。单独地各个单元虽然不快，可是它们连续的或平行的运行结果有很高的效率和产量。

(5) 综合分类

若综合各种情况，则可将贴装机分为小型机、中型机、大型机。一般小型机只能容纳15个SMC/SMD材料架，结构一般为台式，能自动或手动送料，贴装速度为低速；中型机能容纳20~30个SMC/SMD材料架，贴装速度有低速也有中速；大型贴装机能容纳50个以上的SMC/SMD材料架，贴装速度有中速也有高速。

### 6.1.3 元器件供料系统

可靠地提供元器件是可靠贴装元器件的基本保证。元器件在包装容器中扭曲、反转或有其他故障，则很难从包装容器中取出，容易导致供料器故障，需要人工干预。另外，如果机器漏检或误检，从包装容器中提取出有缺陷元器件并把它贴装到PCB上，则将会导致返修。所以在供料操作期间确保包装容器中元器件的完整性是提高贴装可靠性的关键因素之一。

元器件的供料由元器件装运包装容器和机械供料器组成的系统完成。首先，元器件制造厂家必须提供包装合适的元器件，确保元器件既能很容易地从包装容器内取出，又不能在容器内活动，以免导致取向错误和引线扭曲等缺陷。另外，供料器的设计必须使供料动作协调一致，不致损坏元器件。适合于表面组装元器件的供料器有：编带、棒式（杆式）、托盘和散装等形式。

**1. 编带供料器**

对应于编带包装的供料器叫编带供料器，编带包装适合于大多数表面组装元器件，一个编带能容纳大量元器件，并对每个元器件提供单独的保护。编带供料器操作可靠，应用范围广泛。

为了便于贴装工具拾取元器件，供料器必须能精确地使元器件转位，同时剥离覆盖带，使元器件在拾取位置露出。有些供料器采用“百叶片”覆盖露出来的元器件，当转位停止后，贴装工具准备拾取元器件时，覆盖叶片才缩回。

**2. 棒式供料器**

对应于棒式包装的供料器叫棒式（杆式）供料器。棒式供料器有两种类型，一种是非振动“雪橇—倾斜”式重力供料器。在独立的平行轨道上能容纳几个单独的包装棒，主要依靠器件自重下滑供料。另一种是振动棒式供料器，它不直接依靠重力供料，而是当器件靠自重从包装棒中下滑到供料器的前部扩大部分时，依靠该部分的机械振动使器件向前移动供料。这种结构确保了元器件的可靠传递，

同时当更换包装时也不会中断供料。它的振动幅度必须与所传递的器件相匹配。如果振动不足，器件不能及时移动和可靠传递。常采用“百叶片”覆盖移动中的元器件，防止它掉落。另外，振动应间歇进行，在“百叶片”打开，贴装工具拾取元器件时停止振动。实际应用中大多采用振动式供料。有的棒式供料器还采用传送带系统传送元器件到贴装工具拾取元器件的位置。

**3. 散装供料**

散装元器件的包装成本比其他任何包装形式都低，但其供料的可靠性差。典型的散装供料器由包括一套挡板的线性振动轨道组成，以确保元器件到达供料器前端时取向正确。随着供料器的振动，元器件在轨道上排队向前移动，取向不正确的元器件跌落到储存器中，以后重新进入轨道再排队，直至最终取向正确。这种供料适合于矩形和圆柱形片式元件和各种小外形半导体器件，而不适用于有极性器件，除非这种器件有明显几何特征表明其极性。

与棒式供料器一样，供料器振动振幅要求非常严格，必须与元器件相匹配。挡板是确保供料可靠性和防止已排队元器件脱离轨道的关键，挡板设计必须允许取向正确的元器件进入排队，而排除取向不正确的元器件。另外，这种供料器对元器件的几何尺寸很敏感，片式元件的尺寸公差很宽，故必须根据元器件的类型设计挡板。而且供料器供料的可靠性在一定程度上取决于同一批元器件尺寸的类似程度。

**4. 矩阵盘式供料器**

矩阵盘式供料器通常容纳引脚数多的大型集成电路器件和裸芯片，所以它的适用范围有限。这种供料器的供料方式不同于上述几种供料器。它不是把器件送到贴装工具要拾取的相同位置上，而是把要贴装的器件事先放在盘中的栅格里，由贴装头从每个栅格中拾取器件。在手工贴装和半自动贴装时常采用这种供料方式。

### 6.1.4 贴装机技术性能与选择

**1. 贴装机性能选择**

由于片状元件及其包装的大小正在变得更小，诸如BGA、μBGA、CSP和倒装芯片等复杂包装的器件的使用日益增加，SMT将理所当然地置身于其中。新的贴片系统将不得不处理这些复杂包装器件和诸如0402、0201甚至01005这样的微型元件。贴片机在四个不同的方面正面临挑战：灵活性与细引脚间距脚、高速度、高速倒装芯片和超高速。每个方面都有其自己的处理要求，每个都要求贴片机有特殊的考虑因素。为此，贴片机选择也要按需要从主要技术性能的适用性角度进行考虑。

贴片机种类很多，一般可以从速度(贴放率)、精度和可重复性、性价比和质量四个方面进行考虑，如表6-2所示。

贴装速度即每小时贴片数量，是最重要的性能参数。它表征了整个生产线的

表6-2 主要贴片机性能对照表

| 贴片机类型 | 高速机 | | | | | | | 中速机 | 通用机 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 贴片机生产商 | Panasert (松下) | | | Universal (环球) | | Siemens (西门子) | | Sony (索尼) | Panasert (松下) | | Universal (环球) | Siemens (西门子) | Sony (索尼) |
| 贴片机型号 | MSHIII (M) | MV2VB (M) | MSR (XL) | HSP4796L | HSP4797 | HS-50 | S25-HM | SI-E1100 | MPAV2B (XL) | MSF (XL) | GSM-2 | F5-HM | SI-E2100 |
| 贴片头配置 | 16头转塔式，2吸嘴/头 | 12头转塔式，5吸嘴/头 | 16头转塔式，6吸嘴/头 | 16头转塔式，5吸嘴/头 | 12头转塔式，5吸嘴/头 | 12旋转吸嘴×1贴片头×4根梁=48吸嘴 | 12旋转吸嘴×1贴片头×2根梁=24吸嘴 | 1吸嘴×12贴片头×1根梁=12吸嘴 | 四吸嘴贴片头，龙门式机械手 | 10吸嘴×1个贴片头×2根梁=20吸嘴 | 4(7)吸嘴×1个贴片头×2根梁=8(14)个吸嘴 | 6（12）旋转吸嘴，贴片头+1个吸嘴 | 1个吸嘴 |
| 工作台配置 | 1个活动工作台 | 1个活动工作台 | 1个活动工作台 | 1个活动工作台 | 1个活动工作台 | 2个固定贴片工作台 | 2个固定贴片工作台 | 1个固定贴片工作台 | 1个固定贴片工作台 | 2个固定贴片工作台 | 1个固定贴片工作台 | 1个固定贴片工作台 | 1个固定贴片工作台 |
| 最大贴片速度（片式元件/QFP） | 0.075s/点 | 0.1s/点 | 0.08s/点 | 0.1s/点 | 0.075s/点 | 0.072s/点 | 0.144s/点 | 0.17s/点 | 0.44s/0.53s | 0.094s/0.26s | 0.18s/0.72s | 0.36s | 0.6s/活动摄像头，1.4s/固定摄像头 |
| 生产能力（片/小时） | 48 000 | 36 000 | 45 000 | 36 000 | 48 000 | 50 000 | 25 000 | 21 175 | 8 100 | 40 000 | 20 000 | 10 000 | 活动摄像头：6 000；固定摄像头：2 500 |
| 贴片精度（片式元件/QFP） | ±0.1mm/3d | ±0.1mm/3d | ±75μm/±0.1mm/3d | ±0.1mm/3d | ±0.1mm/3d | ±67.5μm/3d | ±67.5μm/3d | ±0.06mm/3d | ±70μm/3d/25μm/3d | ±70μm/3d/25μm/3d | ±62μm/3d | ±67μm/3d/37μm/3d | ±0.06mm/3d/±0.05μm/3d |
| 换板时间 | ~3.2s | ~2.4s | ~2.2s | ~3.5s | ~3.0s | ~3.0s | ~3.0s | 1.5s | ~3.0s | ~3.2s | ~3.0s | ~2.0s | 1.5s |

生产周期。

精度和可重复性并不是与生俱来的。必须确保设备在其预期寿命内能足够精确地贴装现有的和将要加载的器件类型。精度通常以微米为单位，它一般指BGA、QFP、CSP和SMD贴装时的定位准确性。重复性是指设备贴装如0201尺寸元件或细间距器件时，设备进行成千上万次操作后，误差范围仍能保持在适当范围内的程度。

性价比即是考虑以更有成本效益的方法来完成所有的元件贴装。目前，贴装成本(Cpp, cost per placement)正成为行业内批量生产的追求目标。

质量则指设备的可靠性，寿命，可维护性和未来适用能力等。

表6-2列出了几种主要贴片机的结构、贴装速度和精度。

**2. 典型贴片机性能简介**

以日本松下公司推出的MV（NM-2555E/F、NM-2556E/F）型贴片机为例。它应用光学技术，能对形状复杂的SMC/SMD瞬时作出正确的判断，以实现高精度的定位以及高速准确的贴装。表6-3为MV系列贴片机的技术性能。其特点简述如下。

**表6-3 MV系列贴片机的技术性能**

<table>
<tr><th>型号</th><th>SMC/SMD种类</th><th>贴片方向</th><th>贴片循环时间</th><th>PCB尺寸(mm)</th><th>控制器</th><th>程序步数</th><th>电源</th><th>气压供应</th><th>外形尺寸(mm)</th><th>重量(kg)</th></tr>
<tr><td>NM-2555E③(M)</td><td rowspan="2">100①</td><td rowspan="4">单位1°<br>0°~359°</td><td rowspan="4">0.22s②</td><td>330×250(max)<br>50×50(min)</td><td rowspan="4">Panadac 783</td><td rowspan="4">2 000/8程序</td><td rowspan="2">3相<br>200±10V<br>5kVA</td><td rowspan="4">0.5MPa<br>100L/min</td><td>4 875(长)×1 818(宽)×1 650(高)</td><td>2 800</td></tr>
<tr><td>NM-2556E③(LL)</td><td>508×381(max)<br>50×50(min)</td><td>5 048(长)×2 048(宽)×2 040(高)</td><td>3 100</td></tr>
<tr><td>NM-2555F③</td><td rowspan="2">(75+75)①</td><td>330×250(max)<br>50×50(min)</td><td rowspan="2">3相<br>200±10V<br>9kVA</td><td>7 368(长)×1 818(宽)×1 650(高)</td><td>3 200</td></tr>
<tr><td>NM-2556F③</td><td>508×381(max)<br>50×50(min)</td><td>7 608(长)×2 048(宽)×1 662(高)</td><td>3 500</td></tr>
</table>

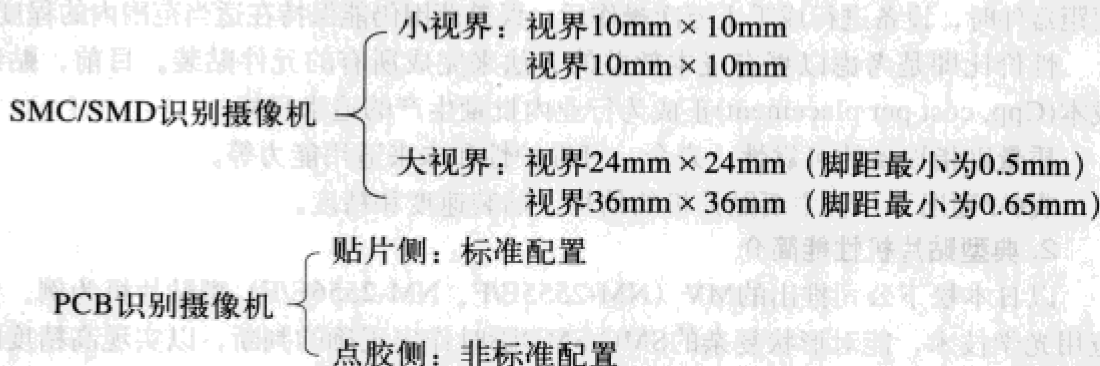
① 8/12mm带装时；② SOP、QEP为0.6s/个（送料间距12mm时）；

③ MK系列和MQ1系列的材料架有互换性。

配合各SMC/SMD选择适应的贴片头，可贴装1.0mm×0.5mm的SMC/SMD，32mm×32mm的QFP，也可贴装脚距为0.5mm的QFP。

①配备PCB识别摄像机，使贴片精度≤±0.1mm。

②配备的摄像机有如下两种：




③应用新开发的元件厚度测试装置，能自动更改吸件和贴片时的吸嘴行程。

④*x*-*y*平台有速率自动调整的功能，使*x*轴和*y*轴可以同时到达定点，确保贴片精度。

采用新的算法理论，大幅度地缩短了示教时间，并可将SMC/SMD的形状储存在程序库内，使重复示教非常容易。若需要更新SMC/SMD的识别数据，可在机器上直接编程。

⑤交换吸嘴、材料架时装卸简便。

## 6.2 贴片工艺特性与影响因素

### 6.2.1 贴装机的工艺特性

精度、速度和适应性是贴装机的三个最重要的特性。精度决定贴装机能贴装的元器件种类和它能适用的领域，精度低的贴装机只能贴装SMC和极少数的SMD，适用于消费类电子产品领域用的电路组装。而精度高的贴装机，能贴装SOIC和QFP等多引脚细间距器件，适用于产业电子设备和军用电子装备领域的电路组装。速度决定贴装机的生产效率和能力。适应性决定贴装机能贴装的元器件类型和能满足的各种贴装要求，适应性差的贴装机只能满足单一品种的电路组件的贴装要求，当对多品种电路组件组装时，就必须增加专用贴装机才能满足不同的贴装要求。目前的高档贴片机在上述三项性能上都有很高的指标。

**1. 精度**

精度是贴装机技术规格中的主要数据指标之一，不同的贴装机制造厂家所使

用的精度有不同的定义。一般来说，贴片的精度应包含以下三个项目：贴装精度、分辨率、重复精度。

（1）贴装精度。贴装精度标志元器件相对于PCB上的标定位置的贴装偏差大小。被定义为贴装元器件端子偏离标定位置最大值的综合位置误差。贴装精度由两种误差组成，如图6-4所示，即平移误差和旋转误差。

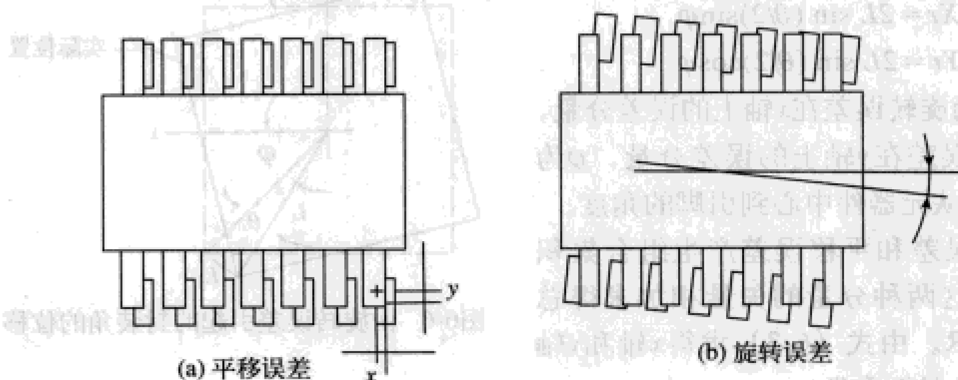



图6-4 贴装精度的误差

平移误差（元器件中心的偏离）主要来自*x*-*y*定位系统的不精确性，它包括位移、定标和轴线正交等误差。如果元器件定心机构没有精确地把元器件的中心对准贴装工具的轴线，则元器件定心机构的不准确性也是一个因素。从理论上考虑，平移误差应该规定为在电路板上元器件相对于设计中心标定位置的真实位置半径$T$，如图6-5a所示。如果考虑*x*-*y*坐标的公差，如图6-5b所示，则$T$可由式（6-1）得到：

$$T=\sqrt{X_t^2+Y_t^2} \tag{6-1}$$

式中：$X_t$为沿$x$轴的误差分量，$Y_t$为沿$y$轴的误差分量。

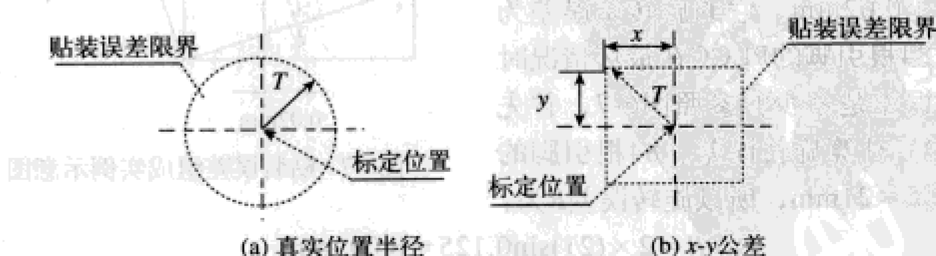



图6-5 平移误差的定义

旋转误差来自元器件定心机构的不精确性和贴装工具旋转的角度误差。它被定义为相对于标定贴装取向的角度公差。离开元器件中心最远的端子旋转误差最大。为了简化分析，利用元器件封装角的位移近似表示这种误差，见图6-6，可由式（6-2）求得位移$R$：

$$R=2L\sin(\theta/2) \tag{6-2}$$

式中：$R$为由旋转误差引起的真实位置偏移，$L$为从元器件中心到封装角的距离，$\theta$为离开标定取向最大角度偏离。

还可沿$x$轴和$y$轴计算旋转误差的组成。可由下列等式求得其误差分量：

$$Xr=2L\sin(\theta/2)\sin\varphi$$

$$Yr=2L\sin(\theta/2)\cos\varphi$$

式中：$Xr$为旋转误差在$x$轴上的误差分量，$Yr$为旋转误差在$y$轴上的误差分量，$\varphi$为相对于$x$轴从元器件中心到引脚的角度。

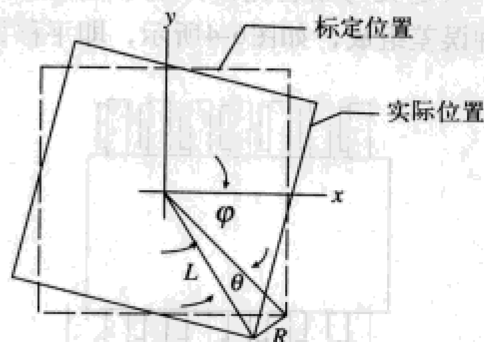



图6-6 由旋转误差引起的封装角的位移

旋转误差和平移误差产生组合累积效果，由这两种分量的矢量相加求得总的误差TPR。由式（6-3）求得$x$轴和$y$轴的总误差分量$Tx$和$Ty$：

$$\begin{aligned}Tx&=Xt+Yr\\Ty&=Yt+Yr\end{aligned} \tag{6-3}$$

然后由式（6-4）求得总误差：

$$TPR=\sqrt{T_x^2+T_y^2} \tag{6-4}$$

由于旋转误差的影响取决于元器件的大小，所以必须分别确定平移误差和旋转误差。当选定贴装的元器件类型后，就可由这两个数值计算总的贴装精度。

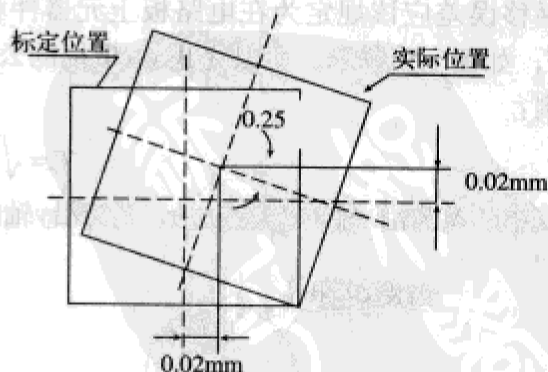



图6-7 贴装误差组成实例示意图

例如，一台贴装机在$x$轴和$y$轴上的平移误差为±0.02mm，它的旋转角误差为±0.25°，84根引脚的PLCC在最坏情况时的总贴装误差是多少？参照图6-7，首先由式（6-2）计算旋转误差。84根引脚的PLCC，其$L$=21mm，所以旋转误差$R$为：

$$R=2\times(21)\sin0.125=0.092\text{mm}$$

再计算旋转误差的$x$轴和$y$轴分量：

$$Xr=0.092\sin45°=0.065\text{mm}$$

$$Yr=0.092\cos45°=0.065\text{mm}$$

沿两个轴的误差为：

$$Tx=0.02+0.065=0.085\text{mm}$$

$$Ty=0.02+0.065=0.085\text{mm}$$

所以，贴装总误差为：

$$TPR = \sqrt{0.085^2 + 0.085^2} = 0.120\text{mm}$$

（2）分辨率。分辨率是描述贴装机分辨空间连续点的能力。贴装机的分辨率由定位驱动电机和轴驱动机构上的旋转或线性位置检测装置的分辨率来决定。当坐标轴被编程并运行到特定点时，实际上到达了能被分辨的距目标位置最近的点，这就使贴装机的定位点与实际目标产生量化误差，它应小于贴装机的分辨率，最大可为贴装机分辨率的二分之一。分辨率还可以简单地描述为是机器运行的最小增量的一种度量，所以在衡量机器本身的运动精度时，它是重要的性能指标。

（3）重复精度。重复精度描述贴装工具重复地返回标定点的能力。在给重复精度下定义时，常采用双向重复精度这个概念，一般定义为：在一系列试验中从两个方向接近任何给定点时离开平均值的偏差，如图6-8所示。

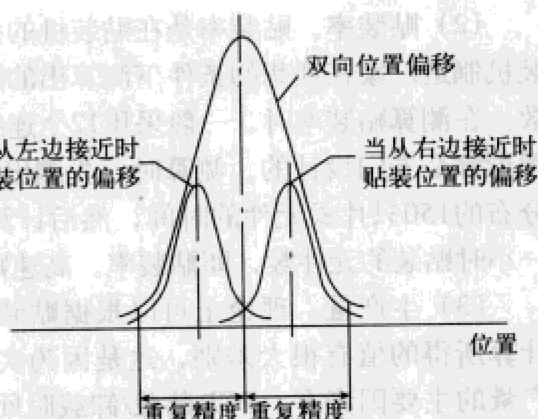



图6-8 双向重复精度的定义

重复精度、分辨率和贴装精度之间有一定关系，如图6-9所示。实际上常把重复精度包含在贴装精度的技术规范中。

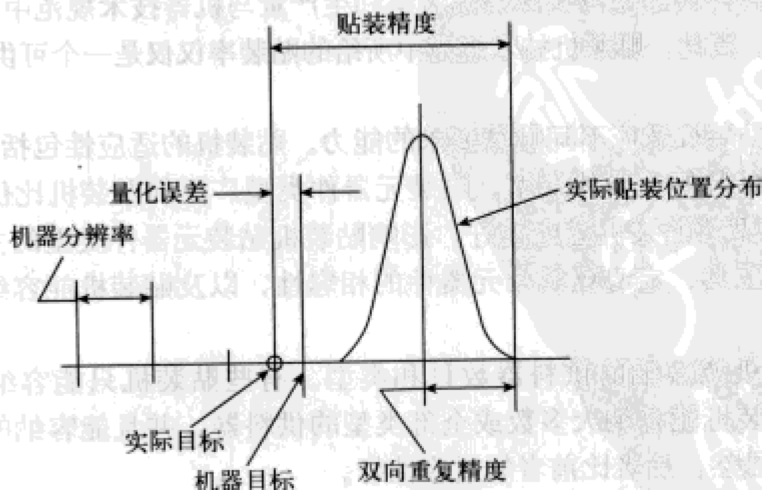



图6-9 三种精度之间的关系

**2. 速度**

一般在同一PCB上要贴装大量的SMC/SMD，贴装往往是SMT工艺中最费时的工序，因此贴装机的速度是整个SMT生产线能力的重要制约因素，提高贴装速度也是降低生产成本的重要手段。贴装机的速度受到许多因素的影响，如PCB的设

计质量、元器件供料器的数量和位置、PCB尺寸、元器件定心和贴装头或PCB定位的复杂程度，以及PCB装卸效率等。而这些因素是设备制造者无法控制的。为此，通常贴装机制造厂家在理想条件下测算出的贴装机速度，与使用时的实际贴装速度有一定差距。一般可以采用以下几种定义描述贴装机的贴装速度。

（1）贴装周期。贴装周期是表示贴装速度的最基本的参数，它指完成一个贴装过程所用的时间。贴装机在排除外部因素之后以一定的贴装速度完成贴装周期。贴装周期包括从拾取元器件、元器件定心、检测、贴放和返回到拾取元器件的位置的全部行程。

（2）贴装率。贴装率是在贴装机的技术规范中所规定的主要技术参数，它是贴装机制造厂家在理想的条件下测算出的贴装速度，是指在一小时内完成的贴装周期数。在测算贴装率时，一般采用12个连续的8mm编带供料器，所用的PCB上的焊盘图形都是专门设计的。测算时，先测出贴装机在50mm×250mm的PCB上贴装均匀分布的150只片式元件的时间，然后计算出贴装一只元件的平均时间，最后计算出一小时贴装的元件数，即贴装率。高速贴片机的贴装率可高达每小时数万片。

（3）生产量。理论上可以根据贴装率计算每班生产量，然而实际的生产量与计算所得的值有很大差别，这是因为实际的生产量受到多种因素的影响。影响生产量的主要因素有：PCB装载/卸载时间；多品种生产时停机更换供料器或重新调整PCB位置时间；供料架的末端到贴装位置的行程长度；元器件类型；PCB设计水平差、元器件不符合技术规范带来的调整和重贴等不可预测性停机时间。

由于上述种种因素使得实际的贴装率和生产量与机器技术规范中所规定的指标存在很大差别。因此，贴装机技术规范中所给的贴装率仅仅是一个可供参考的数据。

**3. 适应性**

适应性是贴装机适应不同贴装要求的能力。贴装机的适应性包括以下内容：

（1）能够贴装的元器件类型。贴装元器件类型广泛的贴装机比仅能贴装SMC或少量SMD类型的贴装机适应性好。影响贴装机贴装元器件类型的主要因素是贴装精度、贴装工具、定心机构与元器件的相容性，以及贴装机能容纳的供料器的数目和种类。

（2）贴装机能容纳的供料器数目和类型。有些贴装机只能容纳有限的供料器；而有些贴装机能容纳大多数或全部类型的供料器，并且能容纳的供料器的数目也比较多。显然，后者比前者的适应性好。

贴装机上供料器的容纳量通常用能装到贴装机上的8mm编带供料器的最多个数表示。有的贴装机规定了能容纳供料器的空间尺寸，根据供料器的宽度可转换成与8mm编带供料器相当的个数。当然，不是所有元器件都能包装在8mm编带中。所以，贴装机的实际容量将随元器件类型（规格）而变。宽带供料器占用空间大，总容纳量减少；棒式（杆式）供料器占用空间小，总容纳量增加。但棒式包装的

元器件数量比编带包装的元器件数量少得多，需要经常填装元器件。表6-4列出各种供料器的宽度参考值。

**表6-4 几种常见元器件供料器宽度**

| 供料器的类型 | 供料器的大约宽度 |
|---|---|
| 编带供料器 | |
| 8mm带卷 | 15mm~25mm |
| 12mm带卷 | 25mm~30mm |
| 16mm带卷 | 25mm~30mm |
| 杆式供料器 | |
| SOIC- | 10mm |
| SOIC- | 15mm |
| PLCC-20 | 15mm |
| PLCC-44 | 30mm |
| PLCC-84 | 30mm |
| 振动供料器 | |
| 片式元件 | 30mm |
| SOT-89 | 60mm |

另外，有些贴装机的供料器只能装在供料器架的固定位置上，相互留25mm的间隔，这就限制了供料器的容纳量。而允许供料器紧靠着安装的贴装机，可增加供料器容纳量，有较好的适应性。但为了适应这种结构特征，贴装系统必须能在供料器架的轴线上任何点进行拾取操作。

（3）贴装机的调整。当贴装机从组装一种类型转换成组装另一种类型的PCB时，需要进行贴装机的再编程、供料器的更换、PCB传送机构和定位工作台的调整、贴装头的调整/更换等调整工作。

贴装机常用人工示教编程和计算机编程两种编程方法。低档贴装机常采用人工示教编程，这种编程方法花费时间长，贴装精度低。较高档的贴装机都采用计算机编程，计算机编程可在控制贴装机用的微机上进行，也可以脱机进行，后者编程不占用贴装机生产时间，对生产量没有影响。目前大多贴装机都可采用软磁盘存贮程序，并能接受外部计算机系统编制的程序。在CAD系统上设计的PCB，可直接采用CAD数据进行编程。采用示教编程的贴装机贴装效率低，适应性差，适合于小批量生产。采用计算机编程的贴装机适应性好，适应性更好的贴装机能提供几种编程方法供选择。

适应性好的贴装机供料器更换次数少，更换供料器花费的时间也少。为了减少更换供料器所用的时间，最普通的方法是采用“快释放”供料器。更快的方法是更换供料器架，使每一种PCB类型上的元器件的供料器都装到单独的供料器架上，以便更换。有些高速贴装机采用了双编带供料器架，并行运转，交替更换带

卷。另外，为满足日益增长的贴装系统“无人值守化”的要求，贴装机还可以安装与编带供料器平行同步移动的辅助编带供料器架，使停止工作的编带供料器架上的空带卷与辅助编带供料器上的实带卷自动交换，全部交换完毕时，才需操作人员进行干预。如果辅助编带供料器架再与自动送料车相连接，就可实现更换编带操作的全自动化。

当更换的PCB尺寸与当前贴装的PCB尺寸不同时，需要调整PCB定位工作台和输送PCB的传送机构的宽度。自动贴装机可在程序控制下自动进行调整，较低档的贴装机可手工调整。采用一种PCB夹持装置可适用于不同尺寸的PCB，虽然成本较高，但可免去前述调整工作。

当在PCB上要贴装的元器件类型超过一个贴装头的贴装范围时，或当更换PCB类型时，往往需要更换或调整贴装头。多数贴装机能在程序控制下自动进行更换/调整工序，而低档贴装机用人工进行这种更换和调整操作。

### 6.2.2 影响贴装机性能的主要因素

任何一台贴装机在实用中都有一定的局限性，有时为了充分发挥贴装机某一方面的性能，就必须降低对另一方面的要求。例如，要提高贴装机的精度，就要在一定程度上降低贴装速度，反之亦然。因此，讨论影响贴装机性能的主要因素，对设计和选用贴装机都具有非常重要的意义。

**1. 总体机械结构**

贴装机的总体机械结构设计主要考虑采用何种方式使贴装的元器件精确地定位在PCB的焊盘图形上，而这些方式将大大影响贴装速度和贴装精度。目前，一般采用两种机械结构进行定位：一种是将所有的运动都集中在贴装头上，贴装操作时PCB保持静止；另一种是贴装操作时PCB和贴装头都运动。当所有的运动都集中在贴装头上时，可以获得最高的贴装精度，因为只有两个传送机构会影响$x$-$y$的定位误差。而当贴装头和PCB都运动时，这两个运动误差相重叠，使总误差增加，贴装精度下降，但可提高贴装率。上述两种方案中，元器件的旋转都是由贴装头的运动来完成的。

**2. $x$-$y$传送机构**

贴装机的精度和速度是由$x$轴和$y$轴的传送机构决定的。

传送机构的定位控制系统有开环和闭环系统两种。开环系统没有纠正轴驱动误差的反馈，精度低，但价格便宜，常用于低档贴装机。闭环系统采用旋转或线性轴编码器跟踪机构位置，以减少定位误差，使贴装精度大大提高，但设备成本高，常用于高精度贴装机。在闭环系统中，由于线性编码器可直接反馈贴装头的实际位置，故比旋转编码器的精度更高，但结构更复杂，且价格昂贵。

在开环系统中常采用链条或带式传送机构，而闭环系统则一般采用滚珠丝杠

传送机构。最近开发的Roh Lix驱动器可用来取代滚珠丝杠，这种机构与线性编码器组合在一起可获得很高的精度和速度。

**3. 其他影响因素**

除上述两个主要因素外，其他如：PCB坐标读数、元器件定心、供料器、计算机控制系统、元器件检测等都会不同程度地影响贴装机的性能。

## 6.3 贴片缺陷分析

### 6.3.1 常见贴片缺陷

贴片缺陷大致包括以下几种：元器件漏贴、元器件贴错、元器件极性贴反、没满足最小电气间隙、元器件贴偏了。

**1. 元器件漏贴**

在贴装过程中，一般采用真空检测器检测元器件是否已经被拾取，如果元器件已经被拾取，则会在贴装头中形成真空，真空检测器感觉到真空后就显示元器件已经被拾取。但是，如果吸嘴被杂质堵住，贴片头内也会形成真空，这时真空检测器也会显示元器件被拾取，但实际并没有拾取元器件，那么就造成漏贴的缺陷。

**2. 元器件错贴**

贴片机将元器件贴装到了不应该属于它的位置，而属于它的位置被别的元器件替代，出现错贴。元器件错贴很可能是喂料器的位置装错了，或者是在编写贴装程序时元器件数据填错了，或者是程序设定与喂料器不匹配。

**3. 元器件极性贴反**

对于无源器件来说，当然没有极性问题。但是，对于二极管、三极管等有源器件来说，元器件引脚必须严格按照正负极进行贴装。否则，即使元器件准确贴装在焊盘上也不能满足有效的电气连接，这种缺陷很有可能跟喂料器和贴装程序有关。

**4. 没有满足最小电气间隙**

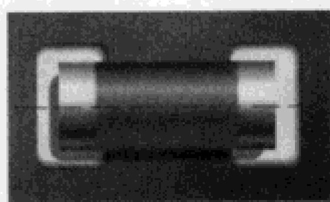
有些元器件在贴装时发生了很小的偏移，就单个元器件来说这种偏移是可以接受的，但是当相邻两个元器件相向偏移时，这种很小的偏移可能就不能满足最小电气间隙，而这种情况往往容易让人们忽略，造成严重的后果。

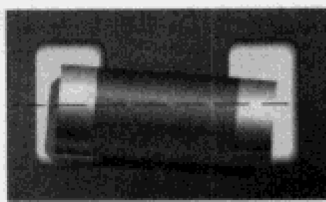
**5. 元器件贴偏**

元器件贴偏一般是由于贴片机的贴片精度不够或振动冲击造成的，与$x$-$y$轴的传动误差、$z$轴的旋转精度、视觉系统及其分辨率、PCB的精度等因素有关。

元器件贴装的接受准则如图6-10与图6-11所示，理想情况是元器件与焊盘位置完全对中，当元器件偏移焊盘的偏移量在元器件金属化端或引脚宽度的25%之内，都认为是合格的；一旦超过25%，原则上认为是不可接受的，不管是侧向偏移还是整体偏移。该规则适用于绝大多数元器件，包括片式电阻、电容、L型引脚陶瓷

芯片载体、J型引脚陶瓷芯片载体以及无引脚陶瓷芯片载体等。当对于自对中能力极强的BGA，特别是PBGA，相关研究表明在偏移50%的情况下仍然能够依靠自对中效应在焊接后对中良好，因此在不引起其他缺陷的情况下，对BGA类自对中效应强的元器件可适当放宽。


(a) 理想对中


(b) 偏移量在元器件金属化端或引脚宽度的25%之内可接受

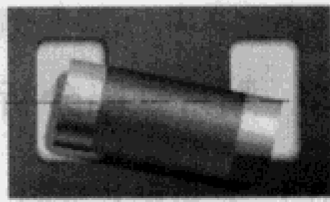
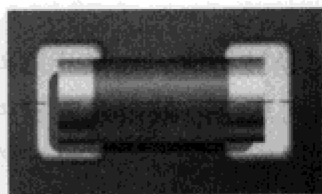
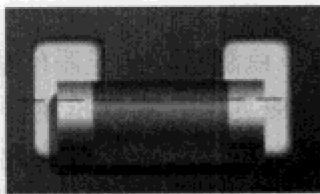

(c) 偏移量超过元器件金属化端或引脚宽度的25%不可接受

图6-10 贴装侧向偏移接受准则


(a) 理想对中


(b) 偏移量在元器件金属化端或引脚宽度的25%之内可接受

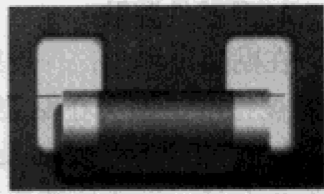

(c) 偏移量超过元器件金属化端或引脚宽度的25%不可接受

图6-11 贴装整体偏移接受准则

总体说来，解决贴装缺陷主要从以下几个方面着手：

(1) 贴装压力是否太低或太高？

(2) 贴装加速度和速度是否太高？

(3) 贴装机精度是否足够？

(4) 传感器工作是否正常？

(5) 喂料器工作是否正常？

(6) 焊膏的粘性是否足够？

(7) 焊膏暴露在空气中的时间是否太长？

(8) 外部环境是否有变化？

外部环境对贴装质量也有重要影响，这里举两个例子。一例贴片机在每天某一特定时段抛件很多，而其他条件都没有变化。后来查明原因是，在厂房附件修建了铁路，每天当火车定时通过时会引起振动而导致视觉系统的识别错误。另一例情况类似，在下午一定时间内，太阳光通过厂房窗户玻璃反射进入贴片机，影响贴片机视觉系统的光照，从而引发贴片问题。

## 6.3.2 贴片缺陷分析例

以下以抛料的种类与对策探讨为例进行典型贴片缺陷分析。

在SMT生产过程中，怎么控制生产成本和提高生产效率，是企业管理者及工程师们很关心的事情，而这些跟贴片机的抛料率有很大的联系。以下就谈谈贴片机的抛料问题。

所谓抛料就是指贴片机在生产过程中，吸到料之后不贴，而是将料抛到抛料盒里或其他地方，或者是没有吸到料而执行以上的一个抛料动作。抛料造成材料的损耗，延长了生产时间，降抵了生产效率，提高了生产成本。为了优化生产效率，降低成本，必须解决抛料率高的问题。

抛料的主要原因及对策：

**原因1**：吸嘴问题。吸嘴变形、堵塞和破损造成气压不足与漏气，从而造成吸料不起、取料不正、识别通不过而抛料。

**对策**：清洁更换吸嘴。

**原因2**：识别系统问题。视觉不良，视觉或雷射镜头不清洁，有杂物干扰识别，识别光源选择不当和强度、灰度不够，还有可能识别系统已坏。

**对策**：清洁擦拭识别系统表面，保持干净无杂物沾污等，调整光源强度、灰度，更换识别系统部件。

**原因3**：位置问题。取料不在料的中心位置，取料高度不正确（一般以碰到零件后下压0.05mm为准）而造成偏位，取料不正，有偏移，识别时跟对应的数据参数不符而被识别系统当做无效料抛弃。

**对策**：调整取料位置。

**原因4**：真空问题。气压不足，真空气管通道不顺畅，有异物堵塞真空通道，或是真空有泄漏造成气压不足而取料不起或取起之后在去贴的途中掉落。

**对策**：调气压陡坡到设备要求气压值（比如对于YAMAHA贴片机，0.5MPa~0.6MPa），清洁气压管道，修复泄漏气路。

**原因5**：程序问题。所编的程序中元器件参数设置不对，跟来料实物尺寸、亮度等参数不符造成识别通不过而被丢弃。

**对策**：修改元件参数，搜寻元件最佳参数设定。

**原因6**：来料的问题。来料不规则，为引脚氧化等不合格产品。

**对策**：IQC做好来料检测，跟元器件供应商联系。

**原因7**：供料器问题。供料器位置变形，供料器进料不良(供料器棘齿轮损坏，料带孔没有卡在供料器的棘齿轮上，供料器下方有异物，弹簧老化或电气不良)，造成取料不到或取料不良而抛料，还有供料器损坏。

**对策**：调整供料器，清扫供料器平台，更换已坏部件或供料器。

有抛料现象需要解决时，可以先询问现场人员，根据描述和观察分析直接找到问题所在，这样能更有效地找出问题，加以解决，同时提高生产效率，不过多地占用机器生产时间。

# 第7章　焊接工艺与设备

## 7.1　SMT焊接的方法与特点

### 7.1.1　SMT焊接方法

焊接是表面组装技术中的主要工艺技术。在一块SMA上少则有几十个多则有成千上万个焊点，一个焊点不良就会导致整个SMA或SMT产品失效。所以焊接质量是SMA可靠性的关键，它直接影响电子装备的性能可靠性和经济效益。焊接质量决定于所用的焊接方法、焊接材料、焊接工艺技术和焊接设备。

焊接是使焊料合金和要结合的金属表面之间形成合金层的一种连接技术。表面组装采用软钎焊接技术，它将SMC/SMD焊接到PCB的焊盘图形上，使元器件与PCB电路之间建立可靠的电气和机械连接，从而实现具有一定可靠性的电路功能。这种焊接技术的主要工艺是：用焊剂将要焊接的金属表面洗净(去除氧化物等)，使之对焊料具有良好的润湿性；供给熔融焊料润湿金属表面；在焊料和被焊金属间形成金属间化合物。

根据熔融焊料的供给方式，在SMT中采用的软钎焊接技术主要有波峰焊接（wave soldering）和再流焊接（reflow soldering）。一般情况下，波峰焊接用于混合组装方式，再流焊接用于全表面组装方式。波峰焊接是通孔插装技术中使用的传统焊接工艺技术，根据波峰的形状不同有单波峰焊接、双波峰焊接等形式之分。根据提供热源的方式不同，再流焊接有传导、对流、红外、激光、气相等方式。表7-1比较了在SMT中使用的各种软钎焊接方法。

表7-1　SMT焊接方法及其特性

| 焊接方法 | | 初始投资 | 操作费用 | 生产量 | 温度稳定性 | 适应性 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 温度曲线 | 双面装配 | 工装先适应性 | 温度敏感元件 | 焊接误差率 |
| 再流焊接 | 传导 | 低 | 低 | 中高 | 好 | 极好 | 不能 | 差 | 影响小 | 很低 |
| | 对流 | 高 | 高 | 高 | 好 | 缓慢 | 不能 | 好 | 有损坏危险 | 很低 |
| | 红外 | 低 | 低 | 中 | 取决于吸收 | 尚可 | 能 | 好 | 要求屏蔽 | 低（a） |
| | 激光 | 高 | 中 | 低 | 要求精确控制 | 要求试验 | 能 | 很好 | 极好 | 低 |

（续）

| 焊接方法 | | 初始投资 | 操作费用 | 生产量 | 温度稳定性 | 适应性 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 温度曲线 | 双面装配 | 工装先适应性 | 温度敏感元件 | 焊接误差率 |
| 再流焊接 | 气相 | 中高 | 高 | 中高 | 极好 | (b) | 能 | 很好 | 有损坏危险 | 中等 |
| 波峰焊接 | | 高 | 高 | 高 | 好 | 难建立 | (c) | 不好 | 有损坏危险 | 高 |

注：(a) 适当固定和夹紧；(b) 改变停顿时间容易，改变温度困难；(c) 一面插装普通元件，SMC装在另一面。

波峰焊接与再流焊接之间的基本区别在于热源与钎料的供给方式不同。在波峰焊接中，钎料波峰有两个作用：一是供热，二是提供钎料。在再流焊接中，热是由再流焊炉自身的加热机理决定的，焊膏首先由专用的设备以确定量涂覆。波峰焊接技术与再流焊接技术是PCB上进行大批量焊接元器件的主要方式。就目前而言，再流焊接技术与装备是SMT组装厂商组装SMD/SMC的主选技术与设备，但波峰焊接仍不失为一种高效自动化、高产量、可在生产线上串联的焊接技术。因此，在今后相当长的一段时间内，波峰焊接技术与再流焊接技术仍然是电子组装的首选焊接技术。

### 7.1.2 SMT焊接特点

由于SMC/SMD的微型化和SMA的高密度化，SMA上元器件之间和元器件与PCB之间的间隔很小，因此，表面组装元器件的焊接与传统引脚插装元器件的焊接相比，主要有以下几个特点：

(1) 元器件本身受热冲击大；

(2) 要求形成微细化的焊接连接；

(3) 由于表面组装元器件的电极或引脚的形状、结构和材料种类繁多，因此要求对各种类型的电极或引脚都能进行焊接；

(4) 要求表面组装元器件与PCB上焊盘图形的接合强度和可靠性高。

所以，与THT相比，SMT对焊接技术提出了更高的要求。然而，这并不是说获得高可靠性的SMA是困难的，事实上，只要对SMA进行正确设计和执行严格的组装工艺，其中包括严格的焊接工艺，SMA的可靠性甚至会比通孔插装组件的可靠性高。关键在于根据不同情况正确选择焊接技术、方法和设备，严格控制焊接工艺。

除了波峰焊接和再流焊接技术之外，为了确保SMA的可靠性，对于一些热敏感性强的SMD常采用局部加热方式进行焊接。

## 7.2 再流焊接技术

### 7.2.1 再流焊接技术概述

**1. 再流焊接技术的特点**

再流焊接（亦称回流焊接）是预先在PCB焊接部位（焊盘）施放适量和适当形式的焊料，然后贴放表面组装元器件，经固化（在采用焊膏时）后，再利用外部热源使焊料再次流动达到焊接目的的一种成组或逐点焊接工艺。再流焊接技术能完全满足各类表面组装元器件对焊接的要求，因为它能根据不同的加热方法使焊料再流，实现可靠的焊接连接。

与波峰焊接技术相比，再流焊接技术具有以下一些特征：

（1）它不像波峰焊接那样，要把元器件直接浸渍在熔融的焊料中，所以元器件受到的热冲击小。但由于其加热方法不同，有时会施加给器件较大的热应力；

（2）仅在需要部位施放焊料，能控制焊料施放量，避免桥接等缺陷的产生；

（3）当元器件贴放位置有一定偏离时，由于熔融焊料表面张力的作用，只要焊料施放位置正确，就能自动校正偏离，使元器件固定在正常位置；

（4）可以采用局部加热热源，从而可在同一基板上，采用不同焊接工艺进行焊接；

（5）焊料中一般不会混入不纯物。使用焊膏时，能正确地保持焊料的组成。

这些特征是波峰焊接技术所没有的。虽然再流焊接技术不适用于通孔插装元器件的焊接，但是，在电子装联技术领域，随着PCB组装密度的提高和SMT的推广应用，再流焊接技术已成为电路组装焊接技术的主流。

**2. 焊料供给方法**

在再流焊接中，将焊料施放在焊接部位的主要方法是：

（1）焊膏法。这是再流焊接中最常用的施放焊料的方法，已在第4章中作了介绍。

（2）预敷焊料法。在元器件和PCB上预敷焊料，在某些应用场合可采用电镀焊料法和熔融焊料法将焊料预敷在元器件电极部位或微细引脚上，或者PCB的焊盘上。在细间距器件的组装中，采用电镀法预敷焊料是比较合适的方法，但电镀的焊料层不稳定，需在电镀焊料后进行一次熔融，经过这样的稳定化处理后，可获得稳定的焊料层。

（3）预成形焊料。预成形焊料是将焊料制成各种形状，有片状、棒状和微小球状等预成形焊料，焊料中也可含有焊剂。这种焊料主要用于半导体芯片的键合和部分扁平封装器件的焊接工艺中。

**3. 再流焊接工艺的加热方法**

在PCB焊盘图形上和元器件电极或引脚上预敷焊料的熔化再流有多种加热方

法，如表7-2所示，主要有放射性热传递（红外线）、对流性热传递（热风、液体）、热传导方式（热板传导）三种。这些方法各有优缺点，在表面组装中应根据实际情况灵活选择使用。红外线、气相（气化潜热）、热风循环和热板等加热方法都属SMA的整体加热方式；加热工具（如热棒）、红外光束、激光和热空气等加热方法属局部加热方式。SMA的整体加热可以使贴装在PCB上的元器件同时成组焊接，产量高。但是，PCB和元器件不需要焊接的部位也被加热，从而有产生热应力的危险，可能使SMA出现可靠性问题。局部加热方式只选择必要的部位进行加热，而不焊接的其他元器件和被焊接的元器件的非焊接部位不被加热，避免了产生热应力的危险，但是产量低。

**表7-2 再流焊接主要加热方法**

| 加热方式 | 原理 | 优点 | 缺点 |
|---|---|---|---|
| 红外 | 吸收红外线热辐射加热 | •连续，同时成组焊接<br>•加热效果很好，温度可调范围宽<br>•减少了焊料飞溅、虚焊及桥焊 | •材料不同，温度控制困难 |
| 气相 | 利用惰性溶剂的蒸气凝聚时放出的气体潜热加热 | •加热均匀，热冲击小<br>•升温快<br>•温度控制准确<br>•同时成组焊接<br>•可在无氧环境下焊接 | •设备和介质费用高<br>•容易出现吊桥和芯吸现象 |
| 热风 | 高温加热的空气在炉内循环加热 | •加热均匀<br>•温度控制容易 | •易产生氧化<br>•强风使元件有移位的危险 |
| 激光 | 利用激光的热能加热 | •集光性很好，适于高精度焊接<br>•非接触加热<br>•用光纤传送 | •$CO_2$激光在焊接面上反射率大<br>•设备昂贵 |
| 热板 | 利用热板的热传导加热 | •由于基板的热传导可缓解急剧的热冲击<br>•设备结构简单、价格便宜 | •受基板的热传导性影响<br>•不适合于大型基板、大元器件<br>•温度分布不均匀 |

## 7.2.2 再流焊接技术的类型与主要特点

再流焊接技术主要按照加热方法进行分类，主要包括：气相再流焊接、红外再流焊接、热风炉再流焊接、热板加热再流焊接、红外光束再流焊接、激光再流焊接和工具加热再流焊接等类型。

### 1. 热板传导再流焊接

利用热板的传导热来加热的再流焊接称为热板再流焊接，也称热传导再流焊接。热板传导加热法是应用最早的再流焊接方法，其工作原理如图7-1所示。发热

器件为块形板，放置在传送带下。传送带由导热性能良好的材料制成。待焊接电路板放在传送带上，热量先传至电路板，再传至焊膏（软钎膏）与SMC/SMD，软钎膏受热熔化，进行SMC/SMD与电路板的焊接。热板传导加热法一般都有预热、再流、冷却三个温区的作业顺序。

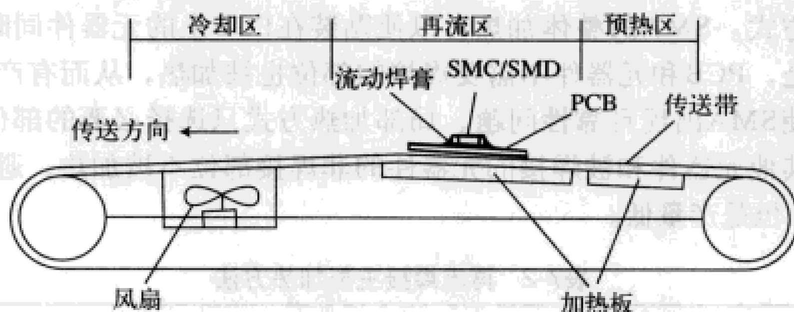



图7-1　热板传导加热再流焊接示意图

该方法的优点为：设备结构简单，价格便宜，初始投资和操作费用低；可以采用惰性气体保护；系统内有预热区；能迅速改变温度和温度曲线；传到元器件上的热量相当小；焊接过程中易于目测检查，产量适中。20世纪80年代初我国一些厚膜电路厂曾引进过此类设备。其缺点是：热板表面温度限制在<300°C；只适于单面组装，不能用于双面组装，也不能用于底面不平的PCB或由易翘曲材料制成的PCB组装；温度分布不均匀。

热板传导再流焊接适合于高纯度氧化铝基板、陶瓷基板等导热性能良好的PCB的单面贴装形式。普通覆铜箔层的压制板类PCB由于其导热性能较差，焊接效果不佳。

**2. 红外再流焊接**

红外辐射加热法一般采用隧道加热炉，热源以红外辐射为主，适用于流水线大批量生产。由于设备成本较低，是较普遍的再流焊接方法。红外线有远红外线与近红外线两种。一般前者多用于预热，后者多用于再流加热。整个加热炉分成几段温区分别进行温度控制。再流区温度一般为230°C~240°C，时间5~10s，见图7-2。

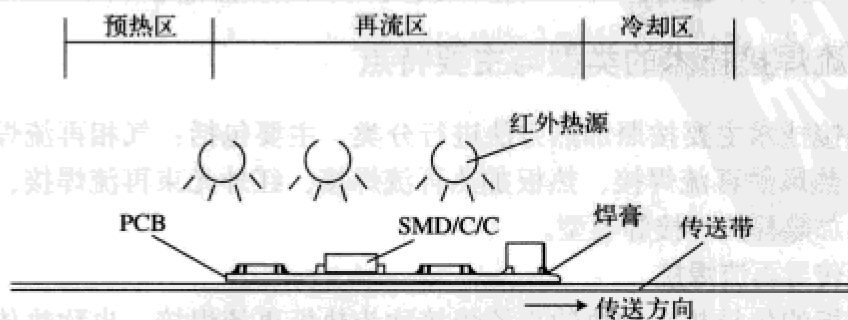



图7-2　红外再流焊接示意图

红外再流焊接有以下优点：可采用不同成分或不同熔点的焊膏；波长范围为1μm~5μm的红外线能使有机酸以及溶剂中其他活性剂离子化，提高了焊剂的润湿性，显著改进了焊接能力；红外线能量渗透到焊膏内，使溶剂逐渐挥发，不会引起焊料飞溅；与气相再流焊接相比，加热温度和速度可调范围宽，且加热速度缓慢，元器件所受热冲击更小；在红外加热条件下，PCB温度上升比气相加热快，元器件引脚和PCB温度的上升较气相再流焊接更易协调一致，大大减少了虚焊等现象的产生；温度曲线控制方便，变换时间短；红外加热器热效率高、成本低；可采用惰性气体保护焊接。

由于红外再流焊接的这些优点，使其成为再流焊接的最基本形式，在我国应用很广。但是红外再流焊接也存在一些缺点，如元器件的形状和表面颜色不同对红外线吸收系数不同，因荫屏效应和散热效应的产生，会导致被焊件受热不均匀，甚至造成元器件受热损坏。为了克服红外再流焊的缺点，又发展了红外再流焊接和热风再流焊接结合的方式。

### 3. 热风再流焊接与热风红外再流焊接

如图7-3所示，热风对流法是利用加热器与风扇，使炉膛内空气不断加热并进行对流循环。炉中虽然有部分热量辐射和传导，但主要的传热方法是对流。它有加热均匀、温度稳定的特点，消除了热板传导与红外线辐射两种方法的缺点。在再流区内还可分成若干个温区，分别进行温度控制，以获得合适的温度曲线，必要时可向炉中充氮气，以减少焊接过程中的氧化作用。

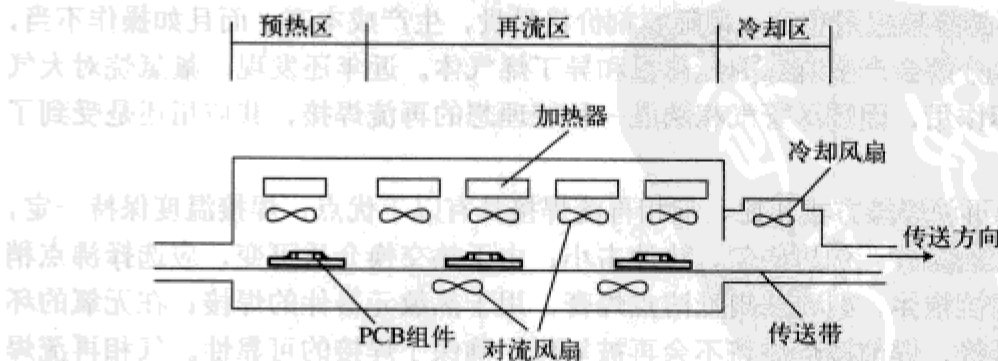



图7-3 热风再流焊接示意图

热风再流焊接是以强制循环流动的热空气或氮气来加热的再流焊接方式，因温度不稳定，易产生氧化，一般不单独使用。热风红外再流焊接是按一定热量比例和空间分布，同时混合采用红外辐射和热风循环对流来加热的方式，也称为热风对流红外辐射再流焊接。

该方式具有更多的优点：焊接温度—时间曲线的可调性大大增强，缩小了设定的温度曲线与实际控制温度之间的差异，使再流焊接能有效地按设定的温度曲线进行；温度均匀、稳定，克服吸热差异及荫屏效应等不良现象。基板表面和元

器件之间温差小，不同的元器件都可在均匀的温度下进行再流焊接；可用于高密度组装；具有很高的生产能力和较低的操作成本。为此，热风红外再流焊接是SMT大批量生产中的主要焊接方式。

4. 气相再流焊接

气相法是利用氟氯烷系溶剂（较典型的牌号为FC-70）饱和蒸气的气化潜热进行加热的一种再流焊接。待焊接的PCB放置在充满饱和蒸气的氛围中，蒸气在与SMC/SMD接触时冷凝，并放出气化潜热，这种潜热使软钎膏熔融再流。气相法的特点是整体加热，溶剂蒸气可到达每一个角落，热传导均匀，可形成与产品几何形状无关的高质量焊接；可精确控制温度，不会发生过热现象；加热时间短，热应力小。其原理如图7-4所示。

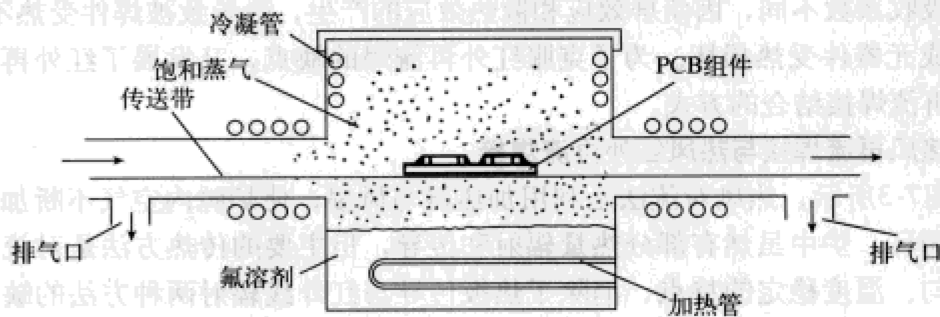



图7-4　气相再流焊接示意图

气相再流焊接应用很广，但氟溶剂价格昂贵，生产成本高，而且如操作不当，氟溶剂经热分解会产生有毒的氟化氢和异丁烯气体。近年还发现，氟氯烷对大气环境有破坏作用，因而尽管气相法是一种较理想的再流焊接，其应用还是受到了限制。

与其他再流焊接方式相比，气相再流焊接具有以下优点：焊接温度保持一定，不会发生过热现象；加热均匀，热冲击小；由于热交换介质可变，应选择沸点稍低的含氟隋性液体，即可采用低溶点焊膏，用于热敏元器件的焊接；在无氧的环境中进行焊接，焊前被焊件将不会再被氧化，确保了焊接的可靠性。气相再流焊接的最大缺点是设备与介质费用昂贵。

5. 激光再流焊接

激光法是利用激光束优良的方向性和高功率密度的特点，通过光学系统将激光束聚集在很小的区域和很短的时间内，使被焊处形成一个能量高度集中的局部加热区。常用的有$CO_2$激光和YAG激光两种，$CO_2$激光发射10.6μm波长的光束。YAG激光系统工作波长则为1.06μm，仅为$CO_2$激光的1/10。在吸收特性上也有一些差别，YAG激光能量可被软钎膏迅速吸收，不易被PCB的陶瓷基板等绝缘材料吸收。激光束的聚焦光点可在φ0.3mm~0.5mm范围内调节。其原理如图7-5所示。

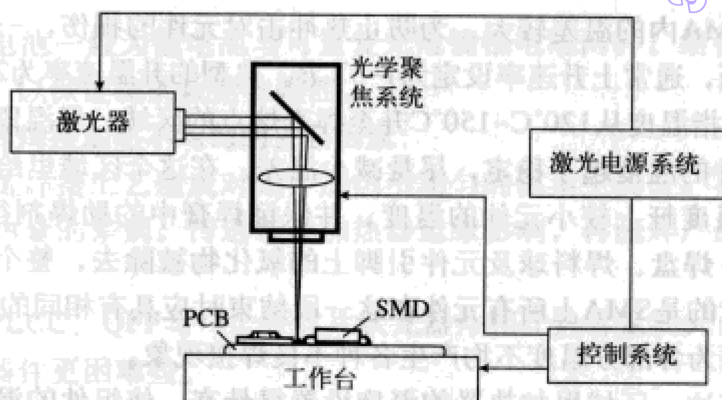



图7-5 激光再流焊接示意图

由于激光焊接能在很短的时间内把较大能量集中到极小表面，加热过程高度局部化，不产生热应力，热敏感性强的元器件不会受热冲击，同时还能细化焊接接头的结晶晶粒度。激光再流焊接适用于热敏元器件、封装组件及贵重基板的焊接。

该方法有显著的优点：局部加热，对PCB、元器件本身及周边的元器件影响小；焊点形成速度快，能减少金属间化合物，有利于形成高韧性、低脆性的焊点；在多点同时焊接时，可使PCB固定而激光束移动进行焊接，易于实现自动化。激光再流焊接的缺点是初始投资大，维护成本高，而且生成速度较低。这是一种新发展的再流焊接技术，它可以作为其他方法的补充，但不可能取代其他焊接方法。

## 7.2.3 再流焊接温度曲线的建立与测量

### 1. 再流焊接温度曲线的建立

温度曲线是指SMA通过再流焊炉时，SMA上某一点的温度随时间变化的曲线。温度曲线提供了一种直观的方法，来分析某个元件在整个再流焊过程中的温度变化情况。这对于获得最佳的可焊性，避免由于超温而对元件造成损坏，以及保证焊接质量都非常有用。

一个典型的温度曲线如图7-6所示。它分为预热、保温（也称活性）、再流和冷却四个阶段。

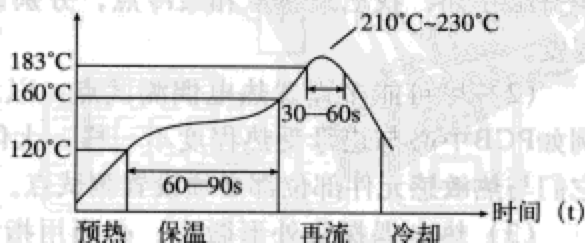



图7-6 典型的温度曲线

预热段：该区域的目的是把室温的PCB尽快加热，以达到第二个特定目标，但升温速率要控制在适当范围以内，如果过快，会产生热冲击，PCB和元件都可能受损；如果过慢，则溶剂挥发不充分，影响焊接质量。由于加热速度较快，

在温区的后段SMA内的温差较大。为防止热冲击对元件的损伤，一般规定最大速度为4°C/s。然而，通常上升速率设定为1~3°C/s。典型的升温速率为2°C/s。

保温段：是指温度从120°C~150°C升至焊膏熔点的区域。保温段的主要目的是使SMA内各元件的温度趋于稳定，尽量减少温差。在这个区域里给予足够的时间使较大元件的温度赶上较小元件的温度，并保证焊膏中的助焊剂得到充分挥发。到保温段结束，焊盘、焊料球及元件引脚上的氧化物被除去，整个PCB的温度达到平衡。应注意的是SMA上所有元件在这一段结束时应具有相同的温度,否则进入到再流段将会因为各部分温度不均产生各种不良焊接现象。

再流段：在这一区域里加热器的温度设置得最高，使组件的温度快速上升至峰值温度。在再流段其焊接峰值温度视所用焊膏的不同而不同，一般推荐为焊膏的溶点温度加20°C~40°C。对于熔点为183°C的63Sn/37Pb焊膏和熔点为179°C的Sn62/Pb36/Ag2焊膏，峰值温度一般为210°C~230°C，再流时间不要过长，以防对SMA造成不良影响。理想温度曲线是超过焊锡熔点的“尖端区”覆盖的体积最小。

冷却段：这段中焊膏中的铅锡粉末已经熔化并充分润湿被连接表面，应该用尽可能快的速度来进行冷却，这样将有助于得到明亮的焊点并有好的外形和低的接触角度。缓慢冷却会导致PCB的更多分解而进入锡中，从而产生灰暗毛糙的焊点。在极端的情形下，它会造成沾锡不良和减弱焊点结合力。冷却段降温速率一般为3~10°C/s，冷却至75°C即可。

**2. 再流焊接温度曲线的测量**

测量再流焊接温度曲线时需使用温度曲线测试仪（以下简称测温仪），其主体是扁平金属盒子，一端插座接着几个带有细导线的微型热电偶探头。测量时可用焊料、胶粘剂、高温胶带固定在测试点上，打开测温仪上的开关，测温仪随同被测PCB一起进入炉腔，自动按内编时间程序进行采样记录。测试记录完毕，将测试仪与打印机连接，便可打印出多根各种色彩的温度曲线。测温仪作为SMT工艺人员的眼睛与工具，在国外SMT行业中已相当普遍地使用了。

在使用测温仪时，应注意以下几点：

（1）测定时，必须使用已完全装配过的PCB。首先对PCB元器件进行热特性分析，由于PCB受热性能不同、元器件体积大小及材料差异等原因，各点实际受热升温不同，找出最热点和最冷点，分别设置热电偶便可测量出最高温度与最低温度。

（2）尽可能多设置热电偶测试点，以求全面反映PCB各部分真实受热状态。例如PCB中心与边缘受热程度不一样，大体积元件与小型元件热容量不同，因此它们与热敏感元件部位都必须设置测试点。

（3）热电偶探头外形微小，必须用指定高温焊料或胶粘剂固定在测试位置，否则受热松动，偏离预定测试点，引起测试误差。

（4）所用电池一般为锂电池与可重复充电镍镉电池两种。结合具体情况合理测试及时充电，以保证测试数据准确性。

**3. 影响再流焊接加热不均匀的主要因素**

在SMT再流焊接工艺造成对元件加热不均匀的因素主要有：再流焊接元器件热容量或吸收热量的差别，传送带或加热器边缘影响，再流焊产品负载等三个方面。

（1）通常PLCC、QFP与一个分立片状元器件相比热容量要大，焊接大面积元器件就比小元器件更困难些。

（2）在再流焊炉中传送带在周而复始地传送产品进行再流焊接的同时，也成为一个散热系统，此外在加热部分的边缘与中心散热条件不同，边缘一般温度偏低，炉内除各温区温度要求不同外，同一载面的温度也有差异。

（3）产品装载量不同的影响。再流焊接的温度曲线的调整要考虑在空载、负载及不同负载因子情况下能得到良好的重复性。负载因子定义为：$LF=L/(L+S)$，其中$L$=组装基板的长度，$S$=组装基板的间隔。

再流焊接工艺要得到重复性好的结果，负载因子愈大愈困难。通常再流焊炉的最大负载因子的范围为0.5~0.9。这要根据产品情况（元器件焊接密度、不同基板）和再流焊炉的不同型号来决定。要得到良好的焊接效果和重复性，实践经验很重要。

## 7.3 波峰焊接工艺技术

### 7.3.1 波峰焊接的基本原理与分类

波峰焊接是利用波峰焊机内的机械泵或电磁泵，将熔融钎料压向波峰喷嘴，形成一股平稳的钎料波峰，并源源不断地从喷嘴中溢出，装有元器件的印制电路板以直线平面运动的方式通过钎料波峰面而完成焊接的一种成组焊接工艺技术，如图7-7所示。

波峰焊接技术由早期的热浸焊接（Hot Dip Soldering）技术发展而来。几十年来，各国学者与工程人员对波峰动力学进行了大量的实验与研究，波峰焊机的波峰型式从单波峰发展到双波峰，双波峰的波型又可分为λ、T、 和“O”旋转波四种波型。按波型个数又可分成单波峰、双波峰、三波峰和复合波峰四种。

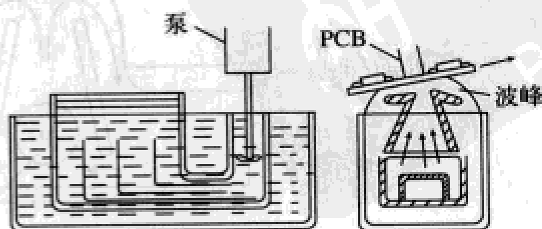


图7-7 波峰焊接工作原理

1. 热浸焊接

热浸焊接是把整块插好电子元器件的PCB与钎料面平行地浸入熔融钎料缸中，使元器件引脚、PCB铜箔进行焊接的流动焊接方法之一。如图7-8所示，PCB组件按传送方向浸入熔融钎料中，停留一定时间，然后再离开钎料缸，进行适当冷却。有时钎料缸还作上下运动。热浸焊接时，高温钎料大面积地暴露在空气中，容易发生氧化。每焊接一次，必须刮去表面的氧化物与焊剂残留物，因而钎料消耗量大。热浸焊接必须正确把握PCB浸入钎料中的深度。过深时，钎料漫溢至PCB上面，会造成报废；深度不足时，则会发生大量漏焊接。

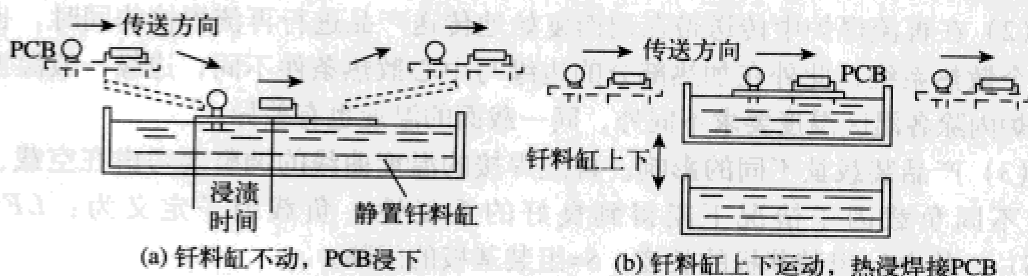



图7-8 热浸焊接的两种形式

另外，PCB翘曲不平，也易造成局部漏焊。PCB热浸焊接后，须用快速旋转的专用刀片（称为平头机或切脚机）剪切去元器件引脚的余长，只要留下2mm~8mm长度以检查焊接头的质量，然后进行第二次焊接。第一次焊接与切余长后，焊接质量难以保证，必须以第二次焊接来补充完善。一般第二次焊接采用波峰焊接。早期的国产电视机、收录机等一些家用电子产品PCB的焊接，大多采用如上的两次焊接法。

2. 单波峰焊接

单波峰焊接借助钎料泵把熔融状钎料不断垂直向上地朝狭长出口涌出，形成20mm~40mm高的波峰。这样可使钎料以一定的速度与压力作用于PCB上，充分渗透入待焊接的元器件引脚与电路板之间，使之完全湿润并进行焊接，见图7-9。它

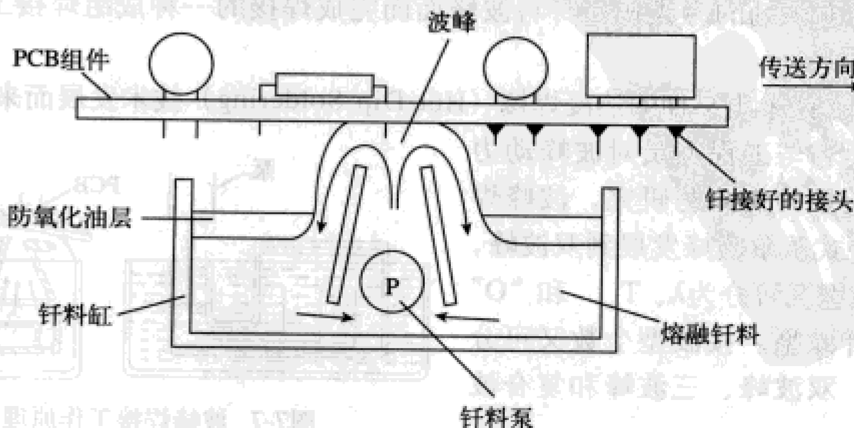



图7-9 单波峰焊接系统

与热浸焊接相比，可明显减少漏焊的比率。由于钎料波峰的柔性，即使PCB不够平整，只要翘曲度在3%以下，仍可得到良好的焊接质量。单波峰焊的缺点是钎料波峰垂直向上的力，会给一些较轻的元器件带来冲击，造成浮动或空焊接。

**3. 双波峰焊接**

由于SMC/SMD没有THD那样的安装插孔，钎剂受热后挥发出的气体无处散逸，如图7-10a所示。另外，SMD有一定的高度和宽度，又是高密度贴装（一般5~8件/cm²），而钎料表面有其张力作用，因而钎料很难及时湿润并渗透到待贴装的每个角落，容易产生"阴屏效应"，如图7-10b所示。所以，如果采用一般的单波峰与热浸焊接方法，会产生大量漏焊接或桥连。为了解决这些问题，必须采用一种新型的波峰焊接——双波峰焊接。

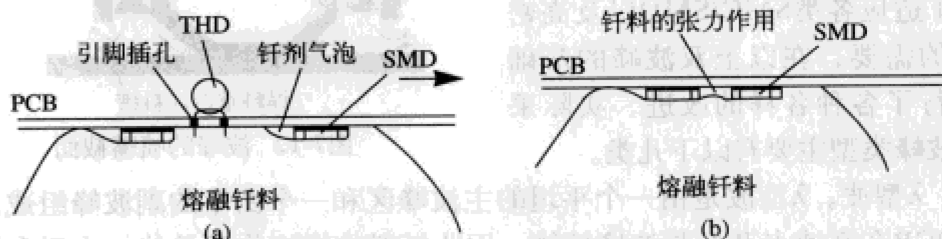


图7-10 SMC/SMD不适合采用浸焊接与单波峰焊接示意图

如图7-11所示，双波峰焊接有前后两个波峰，前一波峰较窄，波高与波阔之比大于1，峰端有2~3排交错排列的小峰头，在这样多头的、上下左右不断快速流动的湍流波作用下，钎剂气体都被排除掉，表面张力作用也被削弱，从而获得良好的焊接效果。后一波峰为双方向宽平波，钎料流动平坦而缓慢，可以去除多余钎料，消除毛刺、桥连等不良现象。根据前一波峰产生的波形不同，双波峰焊接系统有窄幅度对称湍流波（如图7-11所示）、穿孔摆动湍流波（用可调节穿孔喷嘴产生摆动湍流波）、穿孔固定湍流波（穿孔喷嘴固定）之分。

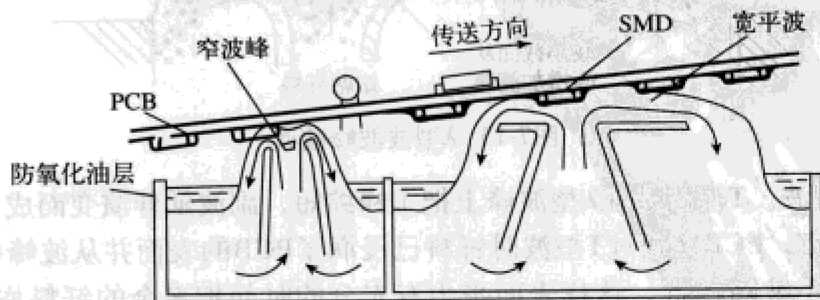


图7-11 双波峰焊接系统原理

双波峰焊接系统是用一个大增压室把熔融钎料压入喷嘴，从而形成双向波峰，所形成的钎料波透过喷嘴凸缘而上升形成钎料波峰。喷嘴外形控制钎料波峰的形状，因此也控制波峰动力学的作用。在喷嘴里放置缓冲网，可保证形成层流和波峰

的光滑，但清理工作困难。若一旦有锡渣部分堵塞缓冲网，会产生波峰不稳、忽高忽低和波峰达不到正常高度等现象。为了减少锡渣的生成，要减少钎料与空气的接触面积，在钎料返回时，为了不会产生过大的紊流，通常用闸门和斜面两种方法。喷嘴截面如图7-12所示。

双波峰焊接对SMD可以获得良好的焊接效果，已在插贴混装方式的PCB上普遍采用。双波峰软焊接的缺点是PCB两次经过波峰，受热量较大，一些耐热性较差的PCB易变形翘曲。

为了适应各类SMC/SMD以及高密度组装的需要，在以上双波峰的基础上，进行了各种各样的改进，实际采用的双波峰类型主要有以下几类。

倾斜度可调的传送装置
深而宽的稳定的焊料波峰
无搅动的焊料表面
焊料边道有助于形成最佳波峰
可调阀门控制焊料流速
焊料重返焊料槽

图7-12 波峰的喷嘴截面

(1) λ型波。λ型波是由一个平坦的主波峰区和一个曲率的副波峰组成。其特点是：PCB在高速点开始与波峰接触，因此钎料的擦洗作用最佳。由于在喷嘴前档板控制波峰形状，从而控制波峰的速度，这样在喷嘴前形成了很大一部分相对速度为零的区域。因此，采用倾角可调范围较大的传送装置在喷嘴的波峰上，相对速度为零的那一点上钎焊PCB。当PCB从波峰上离去之后紧靠热焊附近产生的后热作用，有助于减小焊点拉尖。如图7-13所示。

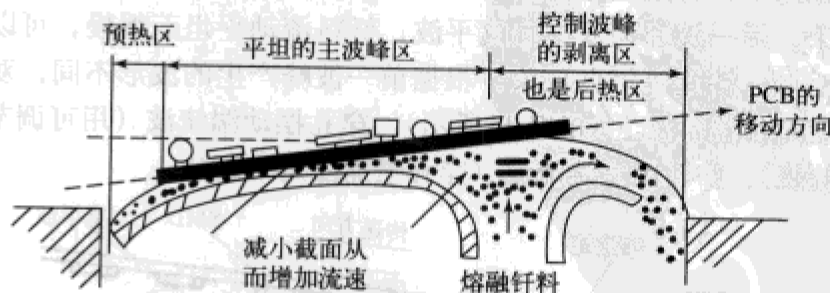



图7-13 λ型波波峰装置

(2) T型波。T型波是在λ型波峰上把主峰缩短，副波延伸演变而成。其特点是波峰变得很宽。PCB在通过T型波时钎料已浸润了PCB的表面并从波峰中推出，形成薄层。由于波峰很宽，这样表面张力有充分的时间把多余的钎料拖回至波峰，减少桥接。

(3) 型波。在双波峰焊系统中，SMA两次经过熔融钎料波峰，热冲击很大，PCB易产生变形。为了解决该问题，研究开发出 型波。它是λ型波的演变，在喷嘴出口处设置了水平方向微幅振动的垂直板，如图7-14所示，能使波峰产生垂直

向上的扰动，从而获得双波峰的效果。

(4) O型旋转波。O型旋转波是在λ波、T型波、 型波的基础上发展而来的。它是在喷嘴中排有一组S型螺旋桨的旋转或运动，即能控制波峰的方向与速度，又能解决“阴屏效应”之死角，是为SMC/SMD焊接设计的新型波峰。该波峰由意大利的IEMME公司发明。

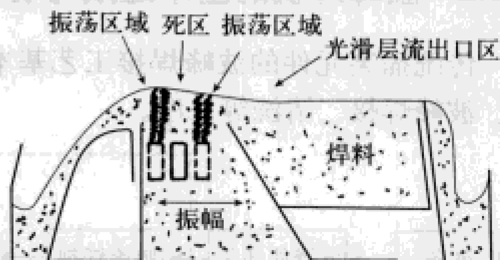



图7-14 型波波峰装置

有的焊接设备在如上双波峰的后面，再用热风刀以强劲的炽热空气流来消除桥连。这种热风刀明显改善了高密度SMD的焊接质量。热风刀的气流速度、流量及温度诸因素，都与消除桥连效果有密切关系。必须结合焊接对象进行调节，才能达到最佳状态。

**4. 喷射空心波焊接**

喷射空心波焊接所用的钎料喷射动力泵与其他波峰泵不一样，系特制电磁泵。电磁泵利用外磁场与熔融钎料中流动电流的双重作用，迫使钎料按左手定则确定的方向流动。调节磁场与电流的量值，可方便地调节泵的压差和流量，从而达到控制空心波高度的目的。图7-15表示喷射空心波焊接原理。

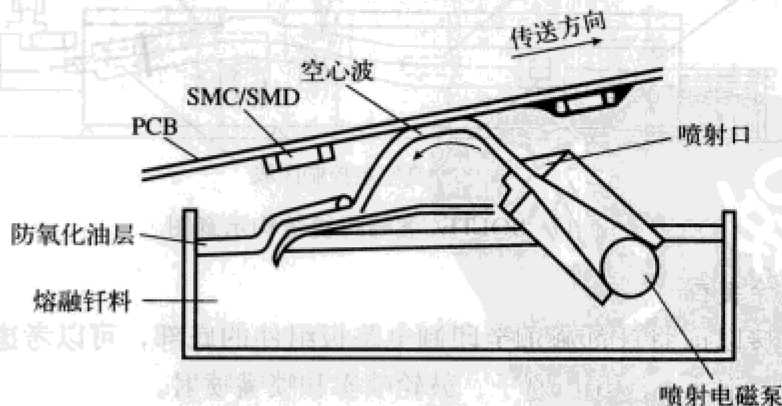



图7-15 喷射空心波焊接示意图

喷射波为空心波，厚度1mm~2mm，与PCB成45°倾角逆向喷射，喷射速度高达100cm/s。依照流体力学原理，可使钎料充分润湿PCB组件，实现牢固焊接。在高速运动的钎料流作用的同时，还会产生向下拉力，有利于贴插混装PCB的引脚一次焊接。空心波与PCB接触长度仅10mm~20mm，接触时间仅上1~2s，因而可减少热冲击。

当完成一块PCB的焊接后，自动停止喷射，钎料全被防氧化油层覆盖，减少了与空气接触而被氧化。喷射空心波焊接的钎料槽一般都较小，最大容量只有几十千克，钎料耗量最少。

喷射空心波焊接对SMC/SMD适应性较好。但对THD效果稍差，接头钎料量欠足，外观不丰满。它最适宜于SMC/SMD比率高的混装PCB焊接。

## 7.3.2 波峰焊机的基本组成与功能

传统插装元件的波峰焊接工艺基本流程如图7-16所示，包括准备、元器件插装、波峰焊接、清洗等工序。

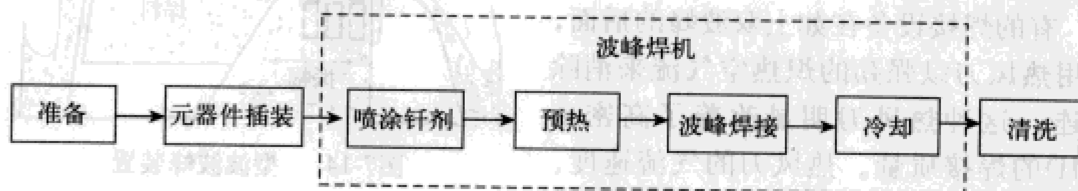



图7-16 波峰焊接基本工艺流程

波峰焊机通常由波峰发生器、印制电路板传输系统、钎剂喷涂系统、印制电路板预热、冷却系统与电气控制系统等基本组成部分。其他可添加部分包括风刀（Airknife）、油搅拌（Oil intermix）和惰性气体氮等。图7-17所示为SOLTEC波峰焊机的结构示意图。

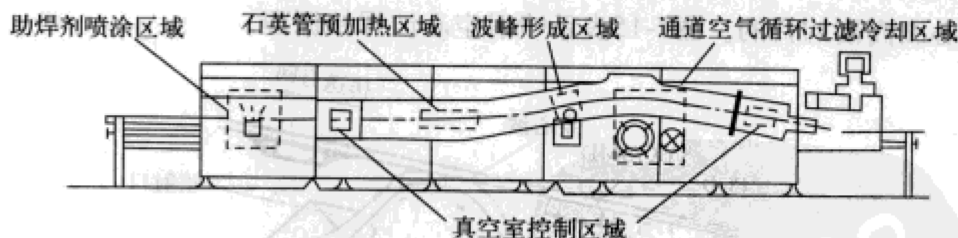



图7-17 SOLTEC波峰焊机结构示意图

### 1. 钎剂喷涂装置

在波峰焊接以前将钎剂施加至印制电路板组件的底部，可以考虑选择下面一些方式来实现：泡沫、波峰、刷子、鼓轮喷雾和喷嘴喷射。

（1）泡沫。泡沫施加钎剂包括将气流从一块多孔的石料中喷射出，该石料浸没在钎剂液体之中。在管道内的泡沫被强迫上升至印制电路板水平面上，钎剂通过泡沫喷头附着在印制电路板的底面上。通过使用较高纯度的钎剂（>10%），泡沫施加钎剂的方式可以获得良好的效果。然而，这种方式会形成较高的溶剂挥发现象，这样就会给所施加的钎剂总量控制带来问题。

（2）波峰。波峰施加钎剂的方式包括通过一个烟囱状输送管道，进行钎剂的泵送，以形成液态钎剂波峰（类似于钎料波峰的形成）。印制电路板的底部悬浮在波峰上面，使钎剂附着到印制电路板的表面上。由于考虑钎剂蒸发和特殊的万有引力作用，波峰施加钎剂的方式往往比需要控制的量涂覆更多的钎剂。

(3) 刷子。在用刷子涂刷钎剂的过程中，细密的硬毛刷在钎剂容器里进行旋转。涂覆钎剂的硬毛与称为“吊环”的棒材相接触，形成向后弯曲。当刷子连续不断地旋转时，在硬毛上的钎剂被抛向印制电路板的底部。尽管这种方式简单并且很便宜，但是这种方式要求经常对钎剂监测，在钎剂难以触及的区域，这种方式很难奏效。

(4) 鼓轮喷雾。鼓轮喷雾钎剂方式通过采用一个旋转的网状鼓轮，从鼓轮底部的槽液中汲取钎剂。随着鼓轮的旋转，向上旋转面上的空气射流将钎剂从网状物内以细小的雾滴吹至印制电路板上，鼓轮的旋转速度控制着所涂覆的钎剂量。对钎剂特殊的重力作用需要进行监测和控制，钎剂进入密集区域时会受到其穿透力的限制。

(5) 喷嘴喷射。喷嘴喷射钎剂的方式是一种较新的钎剂涂覆方式，它适合于新型的钎剂类型，例如：免清洗和免VOC（易挥发有机化合物）配方。在喷射钎剂的过程中，钎剂被安置在一个密封的容器内，免除了对具体重力的监测需求。钎剂被喷射时呈现雾状，并被向上喷射至印制电路板组件的底部。喷射钎剂的这种方式，允许精确地控制整个施加的钎剂量。

在施加钎剂的过程中也可以通过超声波作为一种辅助方式，超声波的振子端连接至钎剂施加安置处使钎剂雾化，于是可以形成钎剂烟雾。空气直接作用在雾气上，一股气流推动着来自于烟雾发生器的钎剂雾气，直接冲向印制电路板，使得钎剂释放在印制电路板上。

波峰焊接设备涂覆钎剂装置有时候采用一把热风刀，它可以将钎剂铺展开，以确保钎剂渗透入凹陷部位。

**2. 预热系统**

波峰焊接设备采用预热系统以升高印制电路板组件和钎剂的温度，这样做有助于在印制电路板进入钎料波峰时降低热冲击，同时也有助于活化钎剂。这两大因素在实施大批量焊接时是非常关键的。预热处理能使印制电路板材料和元器件上的热应力作用降低至最小的程度。

当印刷电路板组件较重时，例如具有8层或以上的多层板，通常情况下要求采用顶部加热措施，以求给印制电路板组件带来合适的温度，同时又不会产生底部过热的现象。

有三种普遍采用的预热处理形式：

(1) 强迫对流。强迫热空气对流是一种有效的和高度均匀的预热方式，它尤其适合于水基钎剂。这是因为它能够提供所要求的温度和空气容量，可以将水蒸发掉。

(2) 石英灯。石英灯是一种短波长红外线（IR）加热源，它能够做到快速地实现任何所要求的预热温度设置。

（3）加热棒。加热棒的热量由具有较长波长的红外线热源所提供。它们通常用于实现单一恒定的温度，这是因为它们实现温度变化的速度较为缓慢。这种较长波长的红外线能够很好地渗透入印制电路板材料之中，以满足较快时间的加热。

### 3. 钎料波峰

涂覆钎剂的印制电路板组件离开了预热阶段，通过传输带穿过钎料波峰。钎料波峰是由来自于容器的熔化了的钎料上下往复运动而形成的，波形的长度、高度和特定的流体动态特性（例如紊流或层流），可以通过挡板的强迫限定来实施控制。随着涂覆钎剂的印制电路板通过钎料波峰，就可以形成焊接点。

### 4. 传输系统

传输系统是一条安放在滚轴上的金属传送带，它支撑着印制电路板移动着通过波峰焊区域。在该类传输带上，印制电路板组件通过金属机械手予以支撑。托架能够进行调整，以满足不同尺寸类型的印制电路板需求，或者按特殊规格尺寸进行制造。

机械手传输带是一种相当普及的型式，因为它能够降低劳动强度，并且能够很好地适合于串联式工艺处理，印制电路板组件在出口处自动予以松开。波峰焊设备的传输带控制着组件通过每个工艺处理步骤的速度和位置，为此，传输带必须运行平稳，并维持一个恒定的速度。此外应保持印制电路板水平放置，使之处在一个合适的高度。传输带的速度和角度可以进行控制，当组件底部从钎料波峰中出来时，微小的仰角（4°~9°）对改善钎料的脱离（剥脱）是有益的，这样将使细间距引脚之间的钎料桥接现象降低至最小的程度。

### 5. 控制系统

随着当代控制技术、微电子技术和计算机技术的迅猛发展，为波峰焊接控制技术进入到计算机控制阶段奠定了基础。在波峰焊接设备中采用了计算机控制，不仅降低了成本，缩短了研制和更新换代周期，而且还可以通过硬件软化设计技术，简化系统结构，使得整机可靠性大为提高，操作维修简便，人机界面友好。国外如瑞士epm公司、美国Electovert公司等，近些年来推出的新机型大多都实现了计算机控制。

采用智能化控制也是一种必然趋势，波峰焊接系统采用智能化控制后，就可以实现把人的思维判断能力和波峰焊接中各工艺要素之间的内在规律性融合在一起，形成一个完整的控制数学模型。再经过模式识别、判断、运算和决策，实现对系统进行最优的实时自适应控制和无疵病钎焊。目前，已出现波峰焊接优化控制器，它用于实时优化控制波峰焊接工艺与设备参数，以获得最佳的焊接效果。

## 7.3.3 波峰发生器

波峰发生器是波峰焊机的核心，是衡量一台波峰焊接系统性能优劣的主要判

据，而波峰动力学又是波峰发生器技术水平的标志。它融合了流体力学、金属表面理论、冶金学和热工学等学科为一体，随着世界各国对波峰焊接的高度重视与研究，钎料波峰动力学逐渐成为一门独立的边缘学科。

钎料波峰发生器分类可归纳如图7-18所示。

#### 1. 机械泵式

以机械泵作为钎料波峰动力技术的波峰焊接系统历史悠久，它存在着结构复杂、旋转零件多、机件极易磨损、可靠性差、维修困难，以及由于机械泵的强烈搅拌作用处于高温熔融状态下的钎料氧化严重等缺陷。而且有钎料槽容积大，浸没在槽内的旋转零件多，钎料受其他金属污染的可能性大，钎料槽中的钎料需定期更换，资源浪费大，使用成本高等不足之处。这一切都是长期困扰其技术完善的障碍。图7-19、图7-20分别示意出离心泵和轴流泵的结构图。

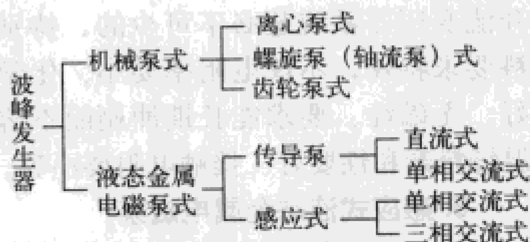


图7-18 波峰发生器分类示意图

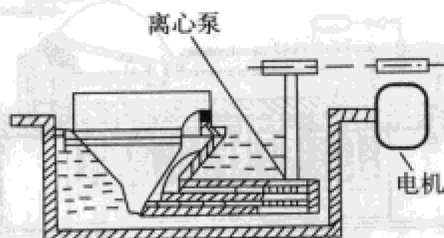


图7-19 离心泵结构图

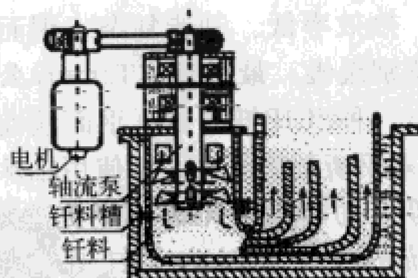


图7-20 轴流泵结构图

#### 2. 传导式液态金属电磁泵

20世纪60年代末国外有人开始寻求解决机械泵式问题的新途径，1969年瑞士R.F.J.PERRIN首先提出了用于泵送液态金属钎料的传导式液态金属电磁泵的新方案，随后陆续有12个国家申请了发明专利。20世纪70年代中期，瑞士KIRSIN公司在世界上推出了单相交流传导式电磁泵波峰焊机系列产品（6TF系列）。1982年法国也有类似的技术获得专利。瑞士人发明的传导式液态金属电磁泵的物理模型如图7-21所示。我国在20世纪90年代初获得专利的传导式液态金属电磁泵的物理模式如图7-22所示。

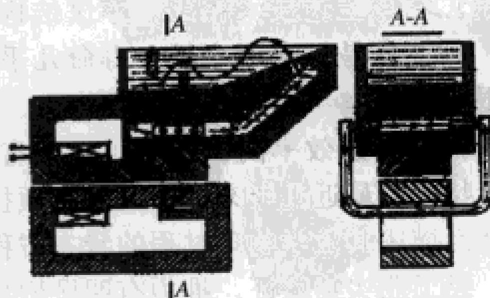


图7-21 单向交流传导式液态金属电磁泵

传导式液态金属电磁泵钎料动力技术的应用，虽然为PCB自动化软钎焊技术设备开创了一个新的领域，它在简化结构、减少磨损、增加寿命、减小钎料槽容积等方面，无疑是独具匠心的。然而在应用中所暴露出的问题表明它也并不是很完美的。在这种结构中，升流变压器系统是必不可少的，特别是电极材料要求特殊，不仅电阻率要小、化学稳定性要好、无磁性、要求能长期冲刷而不溶蚀、对高温钎料亲和性要好、接触电阻要小等。

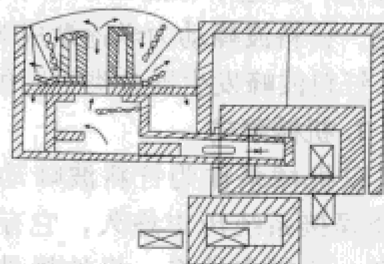


图7-22 国产传导式液态金属电磁泵

### 3. 感应式液态金属电磁泵

感应式液态金属电磁泵目前主要有三相感应式和单相感应式两种结构形式：

（1）三相感应式液态金属电磁泵。1982年东京芝浦电气、东京精机等日本企业提出了三相感应式电磁泵波峰动力技术，其基本结构如图7-23所示。三相感应式电磁泵波峰动力技术，由于结构复杂、比推力小（泵所产生的推力与泵的质量之比）、热工特性欠佳、隔热和保温都较烦杂、热效率低、制造复杂，因而推广应用特别缓慢。最近日本Tamura公司新开发出一种FLIP钎料槽（平面线性吸入泵），采用新型喷流泵，不使用轴承、传送带等可动零件，无需定期更换零件。同传统的旋转推动方式钎料槽相比，FLIP在改善波峰稳定性、缩小体积、提高可靠性等方面都有明显的改善。

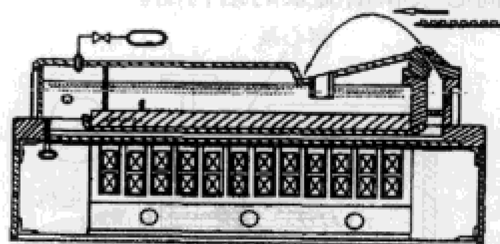


图7-23 三相感应式液态金属电磁泵

（2）单相感应式液态金属电磁泵。此项技术在20世纪90年代初由我国首先获得国际发明专利，其基本原理如图7-24所示。它与上述技术相比，不仅结构简单、制造容易、永不磨损、寿命几乎是无限的、基本不用维修、比推力大、热工特性好、热效率高、功耗小、节省资源。特别是最近几年来，我国对此项技术在理论上再次进行了深化研究，建立了能全面描述其数学物理过程的状态方程。根据此理论创立的新结构形式和设计方法，经工业实物验证，推力有明显增加，波峰的稳定性和抑制氧化能力均有明显的改善，其工况已逼近理论所描述的优化状态。应用新的理论研究成果所设计的新一代智能感应电磁泵波峰焊机即将推向市场。

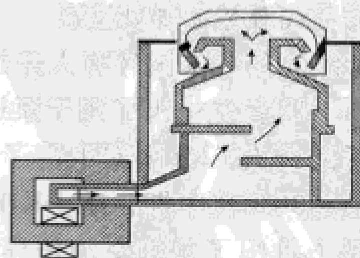


图7-24 单相感应式液态金属电磁泵

### 7.3.4　波峰焊接工艺特性

**1. 波峰焊接工艺**

表7-3列出SMT中采用的波峰焊接工艺。波峰焊接中的三个主要因素是：钎剂的供给、预热和熔融焊料槽。焊剂的供给方式有喷雾式、喷流式和发泡式。熔融焊料槽是波峰焊接系统的心脏，双波峰焊接系统的典型焊料槽设计由两个独立的部分组成。预热对于SMA的焊接是非常重要的焊接工序。在预热阶段，焊剂活化，从焊剂中去除挥发物，将PCB焊接部位加热到焊料润湿温度，并提高SMA的温度，以防止暴露于熔融焊料时受到大的热冲击。一般预热温度（PCB表面）为130~150°C，预热时间为1~3min。熔融焊料温度应控制在240~250°C之间，在合理的结构设计前提下，严格的工艺条件控制是确保焊接可靠性的关键。

表7-3　SMT中采用的波峰焊接工艺

| 工　艺 | 目　　的 | 装　　置 | 主要技术要求 |
|---|---|---|---|
| 表面组装元器件的贴装 ↓ | •用黏结剂将表面组装元器件暂时固定在PCB上<br>•插入有引脚元件，引脚打弯 | 自动贴装机<br>自动插装机 | •元器件与PCB接合强度<br>•定精度 |
| 涂敷焊剂 ↓ | •将焊剂涂敷到印制电路板上 | •喷雾式<br>•发泡式<br>•喷流式 | •整个基板涂敷<br>•焊剂比重控制 |
| 预　热 ↓ | •焊剂中的溶剂蒸发<br>•缓解热冲击 | •预热器 | •预热条件：<br>基板表面温度130°C~150°C，1~3min |
| 焊　接 ↓ | •连续地成组焊接，元器件和电路导体之间建立可靠的电气机械连接 | •喷射式波峰焊机<br>•双波峰焊接设备 | •焊料温度240°C~250°C<br>•焊料不纯物控制<br>•基板与焊料槽浸渍角6°~11° |
| 清　洗 | •SMA清洗 | •清洗设备 | •清洗剂种类<br>•清洗工艺和设备选择<br>•超声波频率等 |

前述各种类型的波峰焊接系统并不足以克服表面组装元器件波峰焊接时存在的漏焊、桥接等焊接缺陷，必须同时很好地控制波峰焊接工艺与设备变量。

**2. 通用波峰焊接系统的变量**

如图7-25所示，波峰焊接主要的工艺与设备变量有：印制电路板控制、涂覆钎剂、焊接温度曲线以及波峰几何结构。这些变量必须加以表征和控制，以获得良好的焊接效果。在印制电路板控制中，必须规定传送系统的容差，以使得在PCB预热和焊接过程中产生的热膨胀不致使PCB翘曲。

在涂覆钎剂时，钎剂密度、活性以及钎剂泡沫与波峰高度之比必须密切监控。为此应安放一个系统来确定钎剂密度、活性以及清除钎剂的时间。带有钎剂密度

控制器的机器自动添加或减薄钎剂以及保持钎剂密度处于规定的限度内。

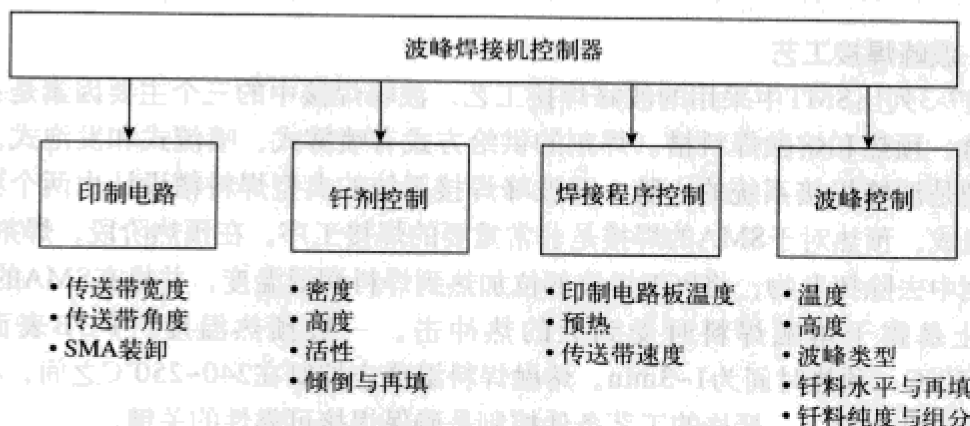



图7-25 通用波峰焊接系统的变量

采用人工监控钎剂活性时，可用化学方法或通过在已知良好端点或引线上进行可焊性测试来实现。当钎剂过一定时间之后，已知良好引线的可焊性将会退化，从而应将这种钎剂换掉。如果使用泡沫钎剂器，监控钎剂活性较容易，因为需要的钎剂量小。一般而言，每天更换新钎剂要比确定钎剂活性更经济些。然而，如果使用含有许多加仑钎剂的波峰钎剂器，那么，监控钎剂活性以控制焊接缺陷是必要的。

焊接温度曲线对获得良好焊接结果非常重要。一个良好的焊接曲线不仅有助于减少焊接缺陷，而且可以防止表面组装器件的过热冲击而破坏。此外，还应要求预热区与焊接区的温差尽可能小。这不仅可以防止表面组装器件受热冲击，而且可以减少由未干燥钎剂的释气引起的漏焊。

分两步或三步预热有引线的印制电路板可使热冲击损坏降低到最小，并且改善了电子组件的寿命。通过研究开发一种规定每种类型印制电路板的预热调节与传送速度的焊接温度曲线，可以获得均匀的预热。图7-26为典型的波峰焊接表面组装元器件的温度曲线。

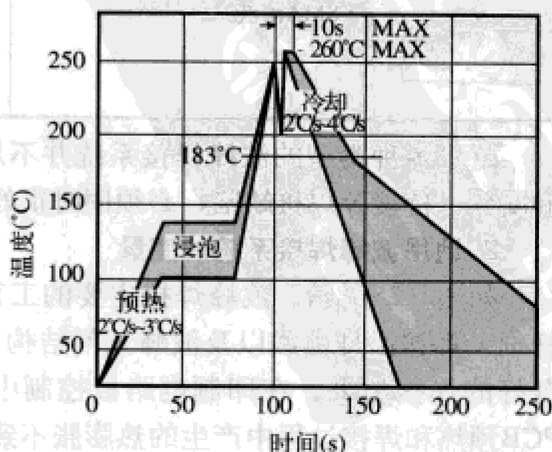



图7-26 典型波峰焊接的焊接温度曲线

焊接波峰类型是所有变量中最重要的变量。它必须允许有效焊接表面组装元器件与通孔插装元件。焊接波峰类型对于防止通孔插装元件的毛刺和焊桥以及表面组装元器件的释气和漏焊是很重要的。不管选用何种波峰类型，它必须有利于钎料进入窄小的间隙和各个角落。

## 7.4 焊接温度的设定

### 7.4.1 测温板的制作

制作测温板是为了量测再流焊接及波峰焊接的温度设定，确保焊接制程之科学性、合理性，确保产品焊接质量，提高产品质量，进而提升企业之竞争力。

测温板制作材料：高温焊锡丝、高温胶带、测温线（需有校正记录）、专用导热胶、PCB。

**1. 测温板制作选点依据（再流焊接）**

第一优先点位为BGA，对一般主机板而言，南侨、北桥、集成网卡均需测量；

第二优先点位为SMT贴装的CPU插座（无则跳过）。根据焊锡原理、再流焊接原理及组件特性，此组件在PCB上的温度最低；

第三优先点位为高密度组装部位和细引脚间距脚QFP类器件等关键焊点部位；

第四优先点位为再流焊炉轨道固定边板边（根据机台运作原理，固定边温度较活动边低）；

第五优先点位为PCB板面中央任意一点。

**2. 测温板制作选点依据（波峰焊接）**

（1）有BGA则第一优先选择BGA；

（2）PCB零件面中央任意点(控制PCB受热状况及Tg点)；

（3）锡波温度；

（4）板背温度(控制助焊剂预热状况)；

（5）测温点分布尽量均匀，如为多联板则每个联板上点位分布要一致；

（6）双面板底部测温点选择最大零件处。

**3. 测温板制作注意事项**

（1）BAG、CPU插座的测温线需从BGA、CPU插座上部穿入；

（2）所有测温线需用高温焊锡丝焊接，并用红胶固定；

（3）每个测温板测温点数不得少于5个；

（4）制作波峰焊测温板时，锡面测温点需从板上部穿孔测试，以免测温线因受锡波高温而受损；

（5）测量SMT贴装的CPU脚座时注意，测温点选择为摇臂端摇臂底部处一点；

（6）测量SMT贴装的CPU脚座时，脚座上的贴装吸取片一定要存在；

（7）所有测温线均需矫正；

（8）测温板使用寿命一般以测试200次为期限，测试200次后需更新（校正再流焊炉的板子使用次数一般不得超过50次）；

（9）测量波峰焊锡面温度的测温线不得悬空，以高温焊锡丝固定于PCB背面

测试点或零件脚上；

#### 4. 测温时机

更换机种时，开始生产或生产中（如为开始生产时测温，于生产过程中需再测试以控制满载时的温度状况）。

#### 5. 检查

由指定工程师确认签名，以确定温度正常，巡检人员随时查核。若有异常，则进行矫正处理，并在相应表格中记录异常与矫正措施。

#### 6. 测温板保存

温度25°C±5°C；湿度<60%RH。

#### 7. 测温板使用记录

测温板每使用一次就要求在相应表格中记录，当使用次数达到200次后则需要更换测温板。

#### 8. 温度测量一般程序

（1）建立专用测试用板，使用次数一般不得超过50次；

（2）建立专用校正温度设定程序；

（3）专用测温板订购设备厂商产品或自己制作，自制校正测温板需符合以下各项要求。

1）每次测温点数为5个；

2）测量位置为PCB左中右各一点，加测BGA QFP两点；

3）测量频率，依据设备厂商建议每年度作检验一次，具体作业如下。

①每月用校正测量板对每台机测量温度，并记录每次测量的实际温度值；

②每次测量温度对应项目温度偏差不得超过3°C，年度内温度偏差不超过5°C；

③每机台年度稳定性CPK需大于1.33，每机台测量数据需大于30组(温度偏差及量测频率的制定依据为机台供货商提供的数据)。

#### 9. 温度设定依据

再流焊接的温度曲线：依据各芯片厂商数据及所使用锡膏数据，参考PCB材料要求建立。

波峰焊接的温度曲线：依据助焊剂数据建立，同时参考各芯片厂商数据及PCB材质数据建立。

工程保留曲线：依据数据及确定标准曲线建立。

曲线修订：由工程人员依据实际焊接质量提出，并按工艺规范执行。

### 7.4.2 再流温度曲线的设定

#### 1. 温度曲线设定准备

正确的温度曲线将保证高品质的焊接锡点。在使用表面贴装元件的PCB组装

中，要得到优质的焊点，一条优化的再流温度曲线是最重要的因素之一。温度曲线是施加于电路组装上的温度对时间的函数，当在笛卡儿平面作图时，再流过程中任何给定的时间上，PCB上某个特定点上的温度形成一条曲线。

几个参数影响曲线的形状，其中最关键的是传送带速度和每个区的温度设定。

带速决定机板暴露在内每个区所设定的温度下的持续时间，增加持续时间可以使电路组装在更长的时间内接近该区的设定温度。每个区所花的持续时间的总和决定总的处理时间。

每个区的设定温度影响PCB的温度上升速度，高温在PCB与区的温度之间产生一个较大的温差。增加区的设定温度允许机板更快地达到给定温度。因此，必须作出一个图形来决定PCB的温度曲线。接下来是大概的步骤，用以产生和优化图形。

在开始作曲线之前，需要下列设备和辅助工具：温度曲线仪、热电偶、将热电偶附着于PCB的工具和锡膏参数表。可从大多数主要的电子工具供应商买到温度曲线附件工具箱，该工具箱使得作曲线更方便，因为它包含所需的全部附件(除了曲线仪本身)。

现在许多再流焊接机器包括了一个板上测温仪，甚至一些较小的、便宜的台面式炉子。测温仪一般分为两类：实时测温仪，即时传送温度/时间数据和作出图形；而另一种测温仪采样储存数据，然后上传到计算机。

热电偶必须有足够的长度，并可承受典型的炉膛温度。一般直径较小的热电偶，热质量小响应快，得到的结果精确。

有几种方法将热电偶附着于PCB上，较好的方法是使用高温焊锡如银/锡合金，焊点尽量小。另一种可接受的方法快速、容易和对大多数应用足够准确，它是用少量的热化合物（也叫热导膏或热油脂）斑点覆盖住热电偶，再用高温胶带（如Kapton）粘住。还有一种方法来附着热电偶，就是用高温胶，如氰基丙烯酸盐粘合剂，此方法通常没有其他方法可靠。附着的位置也要选择，通常最好是将热电偶尖附着在PCB焊盘和相应的元器件引脚或金属端之间（如图7-27所示）。

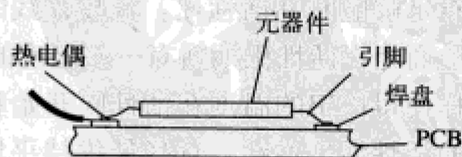



图7-27 热电偶附着位置示意图

锡膏特性参数表也是必要的，其包含的信息对温度曲线是至关重要的，如：所希望的温度曲线持续时间、锡膏活性温度、合金熔点和所希望的再流最高温度。

**2. 理想温度曲线**

开始进行温度设置之前，必须对理想的温度曲线有个基本的认识。理论上理想的曲线由四个部分或区间组成，前面三个区加热、最后一个区冷却（如图7-28

所示)。再流焊炉的温区越多,越能使温度曲线的轮廓更准确和接近设定。大多数锡膏都能用四个基本温区成功再流。

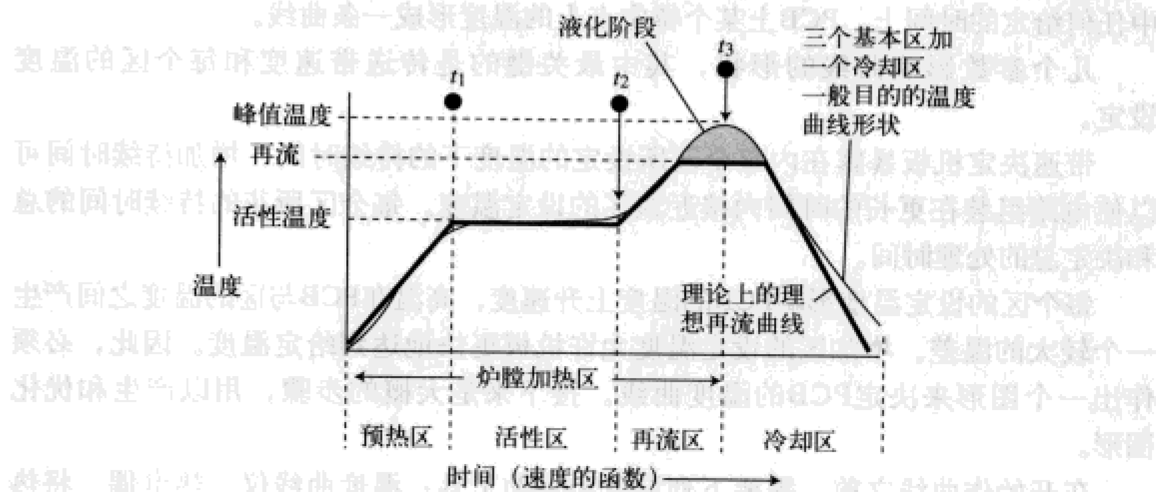



图7-28 理想温度曲线与实际温度曲线

再流焊炉的预热区(也叫斜坡区)一般占整个加热通道长度的25%~33%。用来将PCB的温度从周围环境温度提升到所需的活性(保温)温度。在这个区,产品的温度以不超过每秒2~5°C速度连续上升,温度升得太快会引起某些缺陷,如陶瓷电容的细微裂纹,而温度上升太慢,锡膏会感温过度,没有足够的时间使PCB达到活性温度。

活性区(也叫保温区、干燥或浸湿区)一般占加热通道的33%~50%,它有两个功用,第一是将PCB在相当稳定的温度下感温,允许不同质量的元器件在温度上同质,减少它们的温差。第二是允许助焊剂活性化和挥发性的物质从锡膏中挥发。一般普遍的活性温度范围是120~150°C,如果活性区的温度设定太高,助焊剂没有足够的时间活性化,温度曲线的斜率是一个向上递增的斜率。虽然有的锡膏制造商允许活性化期间有一些温度的增加,但是理想的曲线要求相当平稳的温度,这样使得PCB的温度在活性区开始和结束时是相等的。有的再流焊炉不能维持平坦的活性温度曲线,选择能维持平坦的活性温度曲线的再流焊炉,将提高可焊接性能,使用户有一个较大的处理窗口。

再流区(也叫峰值区或最后升温区)作用是将PCB装配的温度从活性温度提高到所推荐的峰值温度。活性温度总是比合金的熔点温度低一点,而峰值温度总是在熔点上。典型的峰值温度范围是205~230°C,这个区的温度设定太高会使其温升斜率超过每秒2~5°C,或达到的再流峰值温度比推荐的高。这种情况可能引起PCB的过分卷曲、脱层或烧损,并损害元器件的完整性。

目前,最普遍使用的合金是Sn63/Pb37,这种比例的锡和铅使得该合金共晶。

共晶合金是在一个特定温度下熔化的合金，非共晶合金有一个熔化的范围，而不是熔点，有时叫做塑性状态。这里所述的所有例子都是指共晶锡/铅，该合金的熔点为183°C。

理想的冷却区曲线应该和再流区曲线成镜像关系。越是靠近这种镜像关系，焊点达到固态的结构越紧密，得到焊接点的质量越高，结合完整性越好。

**3. 温度曲线设定步骤**

作温度曲线的第一个考虑参数是传输带的速度设定，该设定将决定PCB在加热通道所花的时间。典型锡膏制造商的参数要求3~4min的加热曲线，用总的加热通道长度除以总的加热感温时间，即为准确的传输带速度。例如，当锡膏要求4min的加热时间，使用6ft（1ft＝0.3048m）加热通道长度，计算为：

6ft÷4min＝1.5ft/min＝18in/min。

然后决定各个区的温度设定，重要的是要了解实际的区间温度不一定就是该区的显示温度。显示温度只是代表区内热敏电偶的温度，如果热电偶靠近加热源，显示的温度将比区间温度高，热电偶越靠近PCB的直接通道，显示的温度将越能反应区间温度。明智的做法是向再流焊炉制造商咨询显示温度和实际区间温度的关系。这里考虑的是区间温度而不是显示温度。表7-4列出的是用于典型PCB组装再流的区间温度设定。

**表7-4　典型PCB再流区间温度设定**

| 区　　间 | 区间温度设定 | 区间末实际板温 |
|---|---|---|
| 预热 | 210°C(410°F) | 140°C(284°F) |
| 活性 | 177°C(350°F) | 150°C(302°F) |
| 再流 | 250°C(482°F) | 210°C(482°F) |

速度和温度确定后，必须输入到炉的控制器。其他需要调整的参数包括冷却风扇速度、强制空气冲击和惰性气体流量。一旦所有参数输入后，启动机器，炉子稳定后（即所有实际显示温度接近符合设定参数）可以开始作曲线。下一部将PCB放入传送带，触发测温仪开始记录数据。为了方便，有些测温仪包括触发功能，在一个相对低的温度自动启动测温仪，典型启动温度比人体温度37°C（98.6°F）稍微高一点。例如，38°C（100°F）的自动触发器，允许测温仪几乎在PCB刚放入传送带进入炉时开始工作，使得热电偶不会因手工操作而产生误触发。一旦产生最初的温度曲线图，可以将之和锡膏制造商推荐的理想曲线进行比较。

**4. 温度曲线分析调整**

首先，必须证实从环境温度到再流峰值温度的总时间和所希望的加热曲线居留时间相协调，如果太长，按比例地增加传送带速度，如果太短，则相反。

接着，将图形曲线的形状和所希望的图形曲线相比较并进行调整，以选择最佳曲线。

比较调整时应该考虑从左到右(流程顺序)的偏差。例如，如果预热和再流区中存在差异，首先将预热区的差异调正确，一般最好每次调一个参数，在作进一步调整之前运行这个曲线设定。这是因为一个给定区的改变也将影响随后区的结果。我们也建议新手调整幅度时要相当较小一点。一旦在特定的炉上取得经验，则会有较好的“感觉”来作相应幅度的调整。

图7-29所示现象为预热太过（上面的曲线）或不够（下面的曲线），调整措施为减少或增加预热区温度。图7-30所示现象为活性（保温）温度太高（上面的曲线）或太低（下面的曲线），调整措施为降低或增加活性区温度。

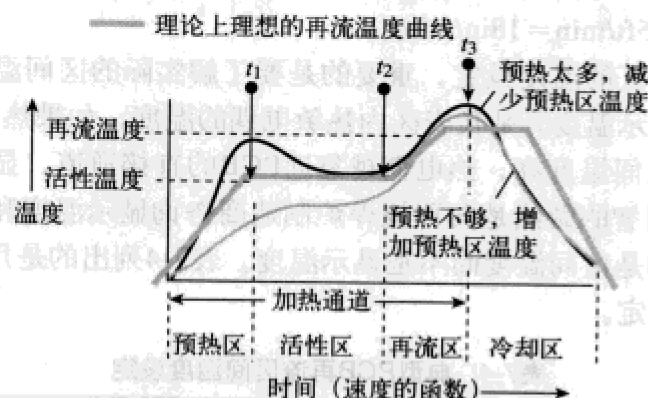



图7-29 预热过多或不足的再流温度曲线

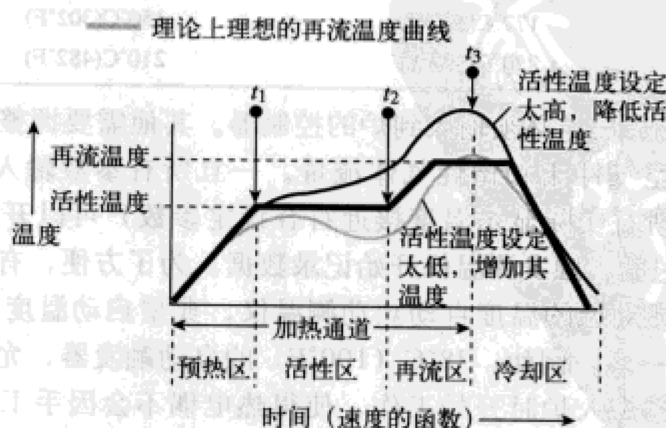



图7-30 活性区温度太高或太低的再流温度曲线

图7-31所示现象为再流太过（上面的曲线）或不够（下面的曲线），调整措施为减少或增加再流区温度。图7-32所示现象为冷却不够（上面的曲线）或太快（下面的曲线），调整措施为增加或降低冷却风扇的速度。

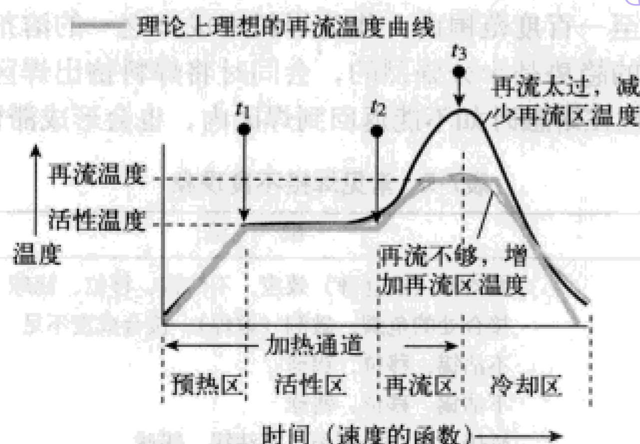



图7-31 再流太过或不够的再流温度曲线

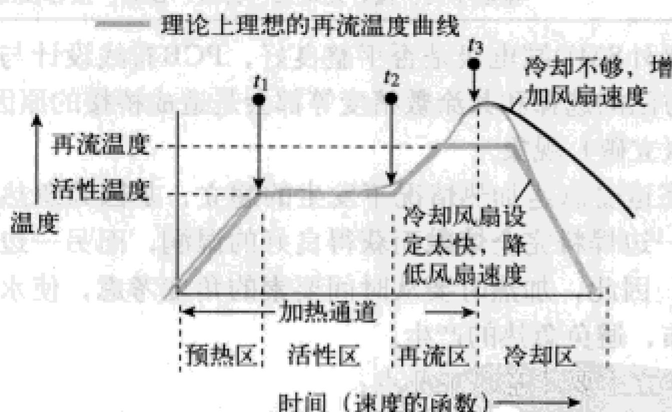



图7-32 冷却不够或过快的再流温度曲线

最后的曲线图形应该尽可能地与所希望的曲线图形相吻合，应该记录或储存再流焊炉的参数以备后用。虽然这个过程开始很慢和费力，但通过长期实践，最终可以更加熟练并提高速度，得到高品质、高效率的PCB组装生产结果。

## 7.5 焊接质量分析与对策

### 7.5.1 再流焊接常见焊接不良分析与对策

#### 1. 再流焊接常见焊接不良现象

常见焊接不良现象如表7-5所示，主要有曼哈顿（或墓碑）效应、不沾锡、移位、锡球、破洞（虚焊）、桥接等。

#### 2. 再流焊接的焊接缺陷的原因分析

(1) 桥联

焊接加热过程中也会产生焊料塌边，这个情况出现在预热和主加热两种场合，

当预热温度在几十至一百度范围内，作为焊料中成分之一的溶剂即会降低黏度而流出，如果其流出的趋势是十分强烈的，会同时将焊料挤出焊区外造成桥连，挤出焊区外的焊料颗粒在熔融时如不能返回到焊区内，也会形成滞留的焊料球。

表7-5 常见焊接不良现象

| 组件·芯片 | 缺陷 |
|---|---|
| 电阻芯片 | 曼哈顿（或立碑）效应、不沾锡、移位、锡球 |
| 电容芯片 | 接合处的龟裂、破洞（虚焊）、接合成度不足 |
| 电晶体 | 不沾锡、移位、锡球 |
| 铝氧电解电容器 | 不沾锡、移位、锡球 |
| 集成电路封装体 | 桥接、接合处断裂、不沾锡、锡球 |
| | 分层（积层板剥离）、接合处龟裂、破洞（虚焊） |
| 继电器 | 接触不良、接合处龟裂、桥接、锡球、接合强度不足 |

除上面的因素外SMD端电极是否平整良好，PCB布线设计与焊区间距是否规范，阻焊剂涂敷方法的选择和其涂敷精度等都会是造成桥接的原因。

（2）曼哈顿（立碑）现象

片式元器件在遭受急速加热情况下发生的翘立，是因为急热使元器件两端存在温差，电极端一边焊料完全熔融而获得良好的湿润，而另一边焊料未完全熔融而引起湿润不良。因此，加热时要从时间要素的角度考虑，使水平方向的加热形成均衡的温度分布，避免急热的产生。

防止元器件翘立主要注意以下几点：

① 选择黏结力强的焊料，焊料的印刷精度和元器件的贴装精度也需提高。

② 元器件的外部电极需要有良好的湿润性和湿润稳定性。推荐温度40°C以下，湿度70%RH以下，进厂元器件的使用期不可超过6个月。

③ 采用小的焊区宽度尺寸，以减少焊料熔融时对元器件端部产生的表面张力。另外可适当减小焊料的印刷厚度，如选用100μm。

④ 防止元器件翘立还需要注意焊接温度管理条件设定。通常的目标是加热要均匀，特别在元器件两连接端的焊接圆角形成之前，均衡加热不可出现波动。

（3）润湿不良

润湿不良是指焊接过程中焊料和电路基板的焊区（铜箔）或SMD的外部电极，经浸润后不生成相互间的反应层，而造成漏焊或少焊故障。其中原因大多是焊区表面受到污染或沾上阻焊剂，或是被接合物表面生成金属化合物层。譬如银的表面有硫化物，锡的表面有氧化物都会产生润湿不良。另外焊料中残留的铝、锌、镉等超过0.005%以上时，由于焊剂的吸湿作用使活化程度降低，也可发生润湿不良。因此在焊接基板表面和元器件表面要做好防污措施。选择合适的焊料，并设定合理的焊接温度曲线。

再流焊接是SMT工艺中复杂而关键的工艺，涉及自动控制、材料、流体力学和冶金学等多种科学。要获得优良的焊接质量，必须深入研究焊接工艺的方方面面。

**3. 再流焊接常见焊接缺陷的解决方法**

产生焊接缺陷的原因往往是多方面的，表7-6列出了常见焊接缺陷的主要原因和解决方法。

**表7-6 焊接缺陷产生原因及解决方法**

| 序号 | 缺陷 | 原因 | 解决方法 |
|---|---|---|---|
| 1 | 元器件位移 | (1) 安放的位置不对<br>(2) 焊膏量不够或定位安放的压力不够<br>(3) 焊膏中焊剂含量太高,在再流过程中焊剂流动导致元器件位移 | (1) 校准定位坐标<br>(2) 加大焊膏量,增加安放元器件的压力<br>(3) 减少焊膏中焊剂的含量 |
| 2 | 焊粉不能再流,以粉状散开式残留在焊盘上 | (1) 加热温度不合适<br>(2) 焊膏变质<br>(3) 预热过度,时间过长或温度过高 | (1) 改进加热设备和调整再流焊温度曲线<br>(2) 注意焊膏冷藏,并将焊膏表面变硬或干燥部分弃去<br>(3) 改进预热条件 |
| 3 | 焊点锡不足 | (1) 焊膏不够<br>(2) 焊盘和元器件焊接性能差<br>(3) 再流焊接时间短 | (1) 扩大丝网和漏板孔径<br>(2) 改用焊膏或重新浸渍元器件<br>(3) 加长再流焊接时间 |
| 4 | 焊点锡过多 | (1) 丝网或漏板孔径过大<br>(2) 焊膏黏度小 | (1) 减少丝网或漏板孔径<br>(2) 增加焊膏黏度 |
| 5 | 组件翘立，出现曼哈顿现象 | (1) 安放位置的移位<br>(2) 焊膏中的焊剂使元器件浮起<br>(3) 印刷焊膏的厚度不够<br>(4) 加热速度过快且不均匀<br>(5) 焊盘设计不合理<br>(6) 采用Sn63/Pb37焊膏<br>(7) 组件可焊性差 | (1) 调整印刷机参数<br>(2) 采用焊剂含量少的焊膏<br>(3) 增加印刷厚度<br>(4) 调整再流焊接温度曲线<br>(5) 严格按规范进行焊盘设计<br>(6) 改用含Ag或Bi的焊膏<br>(7) 选用可焊性好的焊膏 |
| 6 | 焊料球 | (1) 加热速度过快<br>(2) 焊膏吸收了水分<br>(3) 焊膏被氧化<br>(4) PCB焊盘污染<br>(5) 元器件安放压力过大<br>(6) 焊膏过多 | (1) 调整再流焊接温度曲线<br>(2) 降低环境湿度<br>(3) 采用新的焊膏,缩短预热时间<br>(4) 换PCB或增加焊膏活性<br>(5) 减少压力<br>(6) 减小孔径,降低刮刀压力 |
| 7 | 虚焊 | (1) 焊盘和元器件可焊性差<br>(2) 印刷参数不正确<br>(3) 再流焊接温度和速度不当 | (1) 加强对PCB和元器件的筛选<br>(2) 减小焊膏黏度,检查刮刀压力及速度<br>(3) 调整再流焊接温度曲线 |

（续）

| 序号 | 缺陷 | 原因 | 解决方法 |
|---|---|---|---|
| 8 | 桥接 | (1) 焊膏塌落<br>(2) 焊膏太多<br>(3) 在焊盘上多次印刷<br>(4) 加热速度过快 | (1) 增加焊膏金属含量或黏度，换焊膏<br>(2) 减小丝网或漏板孔径，降低刮刀压力<br>(3) 用其他印刷方法<br>(4) 调整再流焊接温度曲线 |
| 9 | 塌落 | (1) 焊膏黏度低触变性差<br>(2) 环境温度高 | (1) 选择合适焊膏<br>(2) 控制环境温度 |
| 10 | 可洗性差,在清洗后留下白色残留物 | (1) 焊膏中焊剂的可洗性差<br>(2) 清洗剂不匹配,清洗溶剂不能渗入细孔隙<br>(3) 不正确的清洗方法 | (1) 采用由可洗性良好的焊剂配制的焊膏<br>(2) 改进清洗溶剂<br>(3) 改进清洗方法 |

### 7.5.2　波峰焊接工艺中常见的问题及分析

#### 1. 润湿不良

润湿不良的表现是钎料无法全面地包覆被焊物表面，而让焊接物表面的金属裸露。润湿不良在焊接作业中是不能被接受的，它严重地降低了焊点的“耐久性”和“延伸性”，同时也降低了焊点的“导电性”及“导热性”。其原因有：PCB和元器件被外界污染物（油、漆、脂等）污染，PCB及元器件严重氧化、助焊剂可焊性差等。可采用强化清洗工序，避免PCB及元器件长期存放，选择合格助焊剂等方法解决。

#### 2. 钎料球

钎料球大多数发生在PCB表面，因为钎料本身的内聚力，这些钎料颗粒的外观呈球状。它们通常随着助焊剂固化的过程附着在PCB表面，有时也会藏在PCB塑胶物如防焊油墨或印刷油墨的表面，因为这些油墨在焊接时会有一段软化过程，也容易沾钎料球。其原因有：PCB预热温度不够（预热温度标准为：酚醛PCB一般为80°C~100°C，环氧PCB为100°C~120°C）导致PCB的表面助焊剂未干，助焊剂的配方中含水量过高及工厂环境湿度过高等。

#### 3. 冷焊

冷焊是指焊点表面不平滑，如“破碎玻璃”的表面一般。当冷焊严重时，焊点表面甚至会有微裂或断裂的情况发生。冷焊产生原因有：输送轨道的皮带振动，机械轴承或马达电扇转动不平衡，抽风设备或电扇太强等。PCB焊接后，保持输送轨道的平稳，让钎料合金在固化的过程中得到完美的结晶，即能解决冷焊的问题。当冷焊发生时可用补焊的方式修整，若冷焊严重时，则可考虑重新焊接一次。

**4. 焊点不完整**

焊点不完整在业界流传的名称很多，如“吹气孔”、“针孔”、“锡落”、“空洞”等。产生焊点不完整的主要原因有：焊孔钎料不足，焊点周围没有全部被钎料包覆；通孔润湿不良，钎料没有完全焊接到孔壁顶端，此情形只发生在双层或多层板；钎料锅的工艺参数不合理；钎料锅温度过低（温度一般为250°C±5°C）；传送带速度过快等。对于通孔润湿不良，要注意是否有元器件及PCB本身的可焊性不良、通孔壁有断裂或有杂物残留、通孔受污染、防焊油墨流入通孔内、助焊剂因过度受热而没有活性、通孔与元器件引脚的比例不正确、钎料波不稳定或输送带振动等不良现象存在。

**5. 包焊料**

包焊料是指焊点周围被过多的钎料包覆而不能断定其是否为标准焊点。其原因有：压钎料的深度不正确（单面板压钎料深度为板厚的1/2~1/3，双面板压钎料深度为板厚的2/3~3/4），预热或钎料锅温度不足，助焊剂活性与密度的选择不当，不适合的油脂类混在焊接流程或钎料的成分不标准或已严重污染等。

**6. 冰柱**

冰柱（拉尖）是指焊点顶部如冰柱状。其产生原因有：机器设备或使用工具温度输出不均匀，PCB焊接设计不合理，焊接时会局部吸热造成热传导不均匀，热沉大的元器件吸热；PCB或元器件本身的可焊性不良，助焊剂的活性不够，不足以润湿；助焊剂中的固体百分含量太低（少于20%），由于第一个湍流波的擦洗作用和焊剂的蒸发，使SMA进入第二个波峰时焊剂剂量不足；PCB过钎料太深，钎料波流动不稳定，手动或自动钎料锅的钎料面有钎料渣或浮物；元器件引脚与通孔的比例不正确，插元器件的过孔太大，PCB表面焊接区域太大时造成表面熔融钎料凝固慢和流动性大等。

**7. 桥接**

桥接是指将相邻的两个焊点连接了。其产生原因有：PCB焊接面没有考虑钎料流的排放，PCB线路设计太近，元器件引脚不规律或元器件引脚彼此太近等；PCB或元器件引脚有锡或铜等金属之杂物残留、PCB板或元器件引脚可焊性不良，助焊剂活性不够，钎料锅受到污染；预热温度不够，钎料波表面冒出污渣，PCB沾钎料太深等。当发现桥接时，可用手工焊接分离。

**8. 焊点短路**

将不该连接在一起的两个焊点短路（注意，桥接不一定短路，而短路一定桥接），其原因有：露出的线路太靠近焊点顶端，元器件或引脚本身互相接触（自动插件机折脚方向不对），钎料波振动太严重等。

# 第8章　SMA清洗工艺技术

## 8.1　清洗技术的作用和主要影响因素

### 8.1.1　清洗技术的作用与分类

**1. 清洗技术的主要作用**

清洗实际上是一种去污染的工艺。SMA的清洗就是去除组装后残留在SMA上的、影响其可靠性的污染物。SMA组装后都有清洗的必要，特别是军事电子装备和空中使用电子设备（一类电子产品）等高可靠性要求的SMA，以及通信、计算机等耐用电子产品（二类电子产品）的SMA，组装后都必须进行清洗。家用电器等消费类产品（三类电子产品）和某些使用免洗工艺技术进行组装的二类电子产品的SMA可以不清洗。一般而言，在电路组件的制造过程中，从PCB上电路图形的形成直到电子元器件的组装，不可避免地要经过多次清洗工艺。特别是随着组装密度的提高，控制SMA的洗净度就显得更加重要了。焊接后SMA的洗净度等级关系到组件的长期可靠性，所以清洗是SMT中的重要工艺。

组装焊接后清洗SMA的主要作用是：

（1）防止电气缺陷的产生。最突出的电气缺陷就是漏电。造成这种缺陷的主要原因是PCB上存在离子污染物、有机残料和其他粘附物。

（2）清除腐蚀物的危害。腐蚀会损坏电路，造成器件脆化，腐蚀物本身在潮湿的环境中能导电，会引起SMA短路故障。以上这两种作用主要是排除影响SMA长期可靠性的不利因素。

（3）使SMA外观清晰。清洗后的SMA外观清晰，能使热损伤、层裂等一些缺陷显露出来，以便于进行检测和排除故障。

**2. 清洗技术方法分类**

根据清洗介质的不同，清洗技术有溶剂清洗和水清洗技术二大类，根据清洗工艺和设备不同又可分为批量式（间隙式）清洗和连续式清洗二种类型，根据清洗方法不同还可以分为高压喷洗清洗、超声波清洗等几种形式。对应于不同的清洗方法和技术有不同的清洗设备系统，可根据不同的应用和产量的要求选择相应的清洗工艺技术和设备。

**3. 清洗能力**

不同清洗方法的清洗能力不同，表8-1所示为不同清洗方法对PCB表面尘埃去

除率的比较。

表8-1 不同清洗方法对PCB表面尘埃去除率比较

| 清洗方法 | 对小于5μm的粒子去除率(%) |
|---|---|
| 氟里昂TF蒸汽清洗 | 11~20 |
| 气体喷射清洗（压力0.07kg/mm²） | 52~61 |
| 氟里昂TF超声波清洗 | 24~92 |
| 氟里昂TF清洗（压力0.035kg/mm²） | 92~97 |
| 水清洗（压力1.75kg/mm²） | 98.0~99.5 |
| 氟里昂TF清洗（压力0.7kg/mm²） | 99.8~99.95 |
| 搓擦方式清洗 | 99.6~99.98 |

注：TF为三氯三氟甲烷。

## 8.1.2 影响清洗的主要因素

### 1. 元器件类型与排列

随着元器件的小形化和薄形化的发展，元器件和PCB之间的距离越来越小，这使得从SMA上去除焊剂剩余物越来越困难。例如LCC、SOIC、QFP和PLCC等复杂器件，焊接后进行清洗时，会阻碍清洗溶剂的渗透和替换。当SMD的表面积增加和引脚的中心间距减少时，特别是当SMD四边都有引脚时，焊后清洗操作更加困难。又如LCC、片式电阻和片式电容等无引脚元器件，本身与PCB之间几乎无间隔，而仅由于焊盘和焊料增加了它们之间的间隙，一般情况下这种元器件与PCB的间隔为0.015mm~0.127mm。当使用焊接掩膜时，这个间隔更小，所以焊接LCC时，采用中度活性的焊剂为宜，以便焊后只在SMA上留下较少的焊剂剩余物，减少清洗的困难。

元器件排列在元器件引脚伸出方向和元器件的取向两个主要方面影响SMA的可清洗性，它们对从元器件下面通过的清洗溶剂的流动速度、均匀性和湍流有很大影响。采用连续式清洗系统清洗时，传送带向下倾斜8°~12°，溶剂以非直角的角度喷射到SMA上。在这种较好的清洗条件下，SOIC的引脚伸出方向和片式元器件的轴向应垂直于组件清洗移动方向，如图8-1所示。在这种取向情况下，通过PCB向下流动的溶剂，不会中断或偏离元器件体下面，从而使清洗最

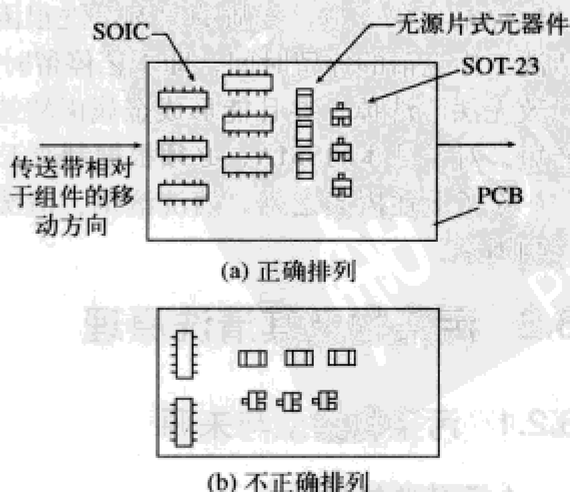



图8-1 元器件排列对清洗的影响

困难的部位获得较佳的清洗效果。

**2. PCB设计**

如果PCB的设计没有考虑到对清洗的潜在影响，就会导致清洗困难和产生广泛的缺陷。为了易于去除焊剂剩余物和其他污染物，PCB设计应考虑下列因素。

（1）避免在元器件下面设置电镀通孔。在采用波峰焊接的情况下，焊剂会通过设置在元器件下面的电镀通孔流到SMA上表面或SMA上表面的SMD下面，给清洗带来困难。为了防止这种情况的出现，应尽量避免在元器件下面设置电镀通孔，或采用焊接掩膜覆盖电镀通孔。

（2）PCB厚度和宽度相匹配，厚度适当。在采用波峰焊接时，较薄的基板必须用加强筋或加强板增加抗变性能力，而这种加强结构会截流焊剂，清洗时难以去除，清洗后还有焊剂剩余物留在PCB上，以致不得不在清洗前用机械方法去除。

（3）焊接掩膜黏性优良。焊接掩膜应能保持优良的黏性，经几次焊接工艺后也无微裂纹或皱褶。采用光成像液体焊接掩膜比干焊接掩膜更具有优良的黏性和耐温度性能。

**3. 焊剂类型**

焊剂类型是影响SMA焊后清洗的主要因素。随着焊剂中固体百分含量和焊剂活性的增加，清洗焊剂的剩余物变得更加困难。所以在军事和空间装备用的SMA上一般使用中度活性的树脂(RMA)或松香(R)型焊剂。对于具体的SMA究竟应选择何种类型的焊剂进行焊接，必须与组件要求的洗净度等级及其能满足这种等级的清洗工艺结合进行综合考虑。

**4. 再流焊接工艺与焊后停留时间**

再流焊接工艺对清洗的影响主要表现在预热和再流加热的温度及其停留时间，也就是再流加热曲线的合理性。如果再流加热曲线不合理，使SMA出现过热，会导致焊剂劣化变质，变质的焊剂清洗很困难。焊后停留时间是指焊接后组件进入清洗工序之前的停留时间，即工艺停留时间。在此时间内焊剂剩余物会逐渐硬化，以致无法清洗掉，并且能形成金属卤酸盐等腐蚀物，因此，焊后停留时间应尽可能短。对于具体的SMA，必须根据制造工艺和焊剂类型确定允许的最长停留时间。

除了上述因素之外，清洗溶剂、清洗系统和清洗工艺对清洗效果也是重要的影响因素。

## 8.2 污染物及其清洗原理

### 8.2.1 污染物类型与来源

**1. 污染物的类型**

污染物是各种表面沉积物或杂质，以及被SMA表面吸附或吸收的一种能使

SMA的性能降级的物质。当污染物和与它接触的材料发生分子等级的化学反应时产生吸附。如果焊接掩膜固化不足，当再流加热时，未固化和未交联的部分与焊剂剩余物等污染物产生反应，焊剂剩余物中的污染物就会被未固化的掩膜中的弱共价键吸附。这种被吸附的污染物几乎无法去除，唯一的办法是采用高沸点溶剂，如四氯二氟乙烷（沸点80°C）或1,1,1-三氯乙烷（沸点73.6°C），软化并与被污染的掩膜反应，通过破坏这种未固化掩膜中的弱共价键来去除污染物。当液体焊剂接触SMA表面的疏松区时，会通过毛细管作用，吸收渗人疏松区，渗透到材料表面下，经过再流工艺，冷却固化后，坚固地保留在组件表面下，难以去除。

污染物还可能是一种杂质或夹杂物。杂质通常呈现颗粒状态，嵌入诸如焊接掩膜或电镀沉积的材料中，并且凸出表面。而夹杂物也是同类固体颗粒，它们被封在污染的材料里。杂质和夹杂物来源于PCB的制造过程。

表8-2列出了常见污染物的类型和可能来源。这些不同类型的污染物可归纳为极性和非极性两种。极性污染物的分子具有偏心的电子分布，即在分子中的原子之间“连接”的电子分布不均匀，这就叫做“极性”特征。如HCl或NaCl的极性分子分离时，产生正的或负的离子：



$$NaCl + H_2O \rightarrow Na^+ + Cl^- + 2H^+ + O^-$$



$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$$

**表8-2 污染物类型和可能的来源**

| 污染类型 | 来　源 |
| --- | --- |
| 有机化合物 | 焊剂，焊接掩膜，编带，指印 |
| 无机难溶物 | 光刻胶，PCB的处理，焊剂剩余物 |
| 有机金属化物 | 焊剂剩余物，白剩余物 |
| 可溶无机物 | 焊剂剩余物，白剩余物，酸，水 |
| 颗粒物 | 空气中的物质，有机物残渣 |

这种自由离子是良好的导体，能引起电路故障，还能与金属发生强烈反应导致腐蚀等。另外，极性污染物也可以是非离子化的。当非离子化的极性污染物出现在电场中，同时又有高温或有其他应力存在时，不同的负电性分子自身就排成行形成电流。

非极性污染物是没有偏心电子分布的化合物，而且不分离成离子也不带电流。这些类型的污染物大多数是由长链的碳氢化合物或碳原子的脂肪酸组成。通常，非极性污染物是绝缘体，不产生腐蚀和电气故障，但使可焊性下降和妨碍SMA 有效电测试。而且，极性污染物有可能夹杂在非极性污染物中，或被非极性污染物覆盖，如果极性污染物暴露在外面，就有可能出现电气故障。

### 2. 焊剂剩余物

从清洗角度来分析，焊剂主要有两种类型：可溶于有机溶剂的和可溶于水的。

可溶于有机溶剂的焊剂是SMA用的标准型焊剂，并且广泛应用于再流焊接和双波峰焊接工艺中。它们主要由天然树脂、合成树脂、溶剂、润湿剂和活化剂等成分组成。焊剂在去除焊接部位的氧化物和降低焊料表面张力、提高润湿性的同时，也是SMA上污染物的主要来源。这种污染物是焊接工艺之后加热改型的焊剂生成物。

树脂焊剂的典型溶剂是醇类，如异丙醇、乙二醇和乙醚或萜烯。一般情况下，预热和再流期间溶剂蒸发，只有极少量的溶剂变成焊剂剩余物。润湿剂在树脂焊剂中的浓度很小，对剩余物的影响很小。树脂中的松香酸在加热过程中容易被氧化，氧化了的松香在许多有机溶剂中的溶解度下降，并且会变成聚合物而成为难以清洗的剩余物，所以在使用中要尽量避免松香氧化。

松香型焊剂的最大的化学变化发生在再流工艺期间。异构化反应是焊接时松香型焊剂的最主要反应。异构化反应是松香原子的重新排列而不是分子量的增加。经凝胶渗透色谱法测量证明，焊接后至少有三种主要的有机松香型焊剂剩余物留在SMA上。它们是松香酸、脱氢松香酸和新松香酸。实际上，松香主要由松香酸组成，所以在中温加热时，这种酸的异构化反应能生成新松香酸，而在高温加热时能生成脱氢松香酸。在焊后的SMA上还检查出其他异构体，如二氢松香酸、四氢松香酸和焦松香酸，另外还有海松酸和异海松酸。

松香型焊剂中的有机酸是很温和的，它本身没有足以减少金属氧化物的化学活性，以加速焊料润湿条件的形成。为了增强松香型焊剂清洗金属氧化物的能力，在其中加入活化剂制成中度活性松香RMA和活性松香RA焊剂。用于高可靠性的电子组件的焊剂腐蚀性很小，只加入有限的卤素活化剂。因此，RMA焊剂剩余物主要由松香有机酸的异构体组成。

为增强焊剂活性，把胺的氢卤化物和链烷醇胺的氢卤化物等活化剂加到松香焊剂中形成RA类焊剂，当加热这些活化剂时，会分解释放出氢卤化物（HCl或HBr）：$R_2^+NHCl^- \rightarrow R_2NH + HCl$。这种很强的无机酸HCl很容易与金属氧化层起反应，有助于氧化层的去除，并将纯金属暴露于焊料下。如：$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl + H_2O$。所以，这种活化剂在焊接条件下常常形成松香酸铜或氯化铜等绿色的物质。这样形成的铜盐弥散在焊剂剩余物中，用含有极性成分的清洗剂很容易完全去除。这些绿色的剩余物没有腐蚀性，但是，有可能掩蔽导致产生腐蚀周期的剩余物和其他潜在的腐蚀剩余物。

**3. 不溶解的剩余物**

在采用松香型焊剂焊接的SMA上，常发现不溶解的白色或褐色剩余物。这种剩余物是焊接时铅—锡焊料和松香之间反应产生的锡的松香酸盐，以及松香弥散在松香酸盐中。当用共沸溶剂中的乙醇去除松香之后，这种不溶解的剩余物呈现白色。对其进行电子显微镜分析，证明组成中含有锡、氯和微量成分铅、铜、铁

和溴。锡是白的，它是不溶解的剩余物的主要成分，是焊接时松香和熔融的锡—铅焊料之间的反应产物。焊料中的铅与松香的反应比锡少，所以只发现剩余物中有微量铅。铜和铁分别来源于PCB和元器件引脚。氯和溴来源于焊剂配方中的活化剂。

**4. 腐蚀周期产生原因**

不管是采用溶剂可溶的还是水可溶的活性焊剂，焊接后用相应的溶剂可以很快去除其留在SMA上的剩余物。如前面所述，这种焊剂在焊接过程中形成强无机酸，它不仅能有效地和焊接部位的金属氧化物反应，而且很容易腐蚀净化了的金属引脚和焊料本身，当活化剂中有卤素时，将形成金属卤酸盐，并与焊剂中的黏结剂（如松香）相结合。如果焊接后到清洗前的停放时间增加，清洗后这种盐常被留在SMA上，当采用非极性和半极性溶剂清洗时，这种现象更明显。在潮湿的环境中，这种卤盐剩余物将会变成良导体。另外，这种卤盐的离子（$Cl^-$或$Br^-$）很容易和焊料反应生成氯化铅（PbCl）或溴化铅（PbBr）。在潮湿的空气中，还发生反应：



$$PbCl_2+CO_2+H_2O \rightarrow PbCO_3+2HCl \quad 或 PbBr_2+CO_2+H_2O \rightarrow PbCO_3+2HBr$$

在这种反应中生成的HCl又立即和焊料反应，生成更多的$PbCl_2$，如此循环下去，出现持续的腐蚀周期。在这个腐蚀周期中形成的白色剩余物$PbCO_3$不溶于水，覆盖在焊料上，成为防止或中止腐蚀周期的清洗工艺的障碍。所以SMA焊接后必须马上进行清洗，以免出现腐蚀周期。

## 8.2.2 清洗原理

**1. 污染物的结合机理**

一般认为污染物和SMA是物理的或化学的结合，多数情况下这两种结合都存在。清洗就是为了破坏或削弱这种结合机理。

（1）物理结合。引起污染物黏结的物理结合可以包括机械力和吸收力（毛细作用力），这种力把PCB表面的污染物“拉住”。产生污染物的机械黏结是由于污染物粘连到PCB的显微表面凸凹不平的部位。在PCB上铜箔被蚀后，PCB表面就形成凸凹不平的显微表面，使得PCB的真正表面积是视在表面的几十倍。这是促进和维持污染物和PCB表面之间很强的机械结合的理想条件。当毛细作用把污染物吸进PCB或组件多孔区时发生污染物的吸收，污染物的吸收与污染物一般地留在基板上相比是更主要的污染原因。例如，层压PCB用的树脂或焊接掩膜中的树脂混合和固化不好，导致树脂的聚合反应不充足，清洗时未聚合的树脂就被溶解掉，结果出现多孔表面，污染物通过毛细作用被吸入多孔表面。当SMA经受多次再流焊接工艺时，焊接掩膜会失去粘性，特别是当采用干膜时，出现掩膜皱褶或其他边缘起卷、裂缝或空隙，最终产生开口，液体污染物从这里被吸收进入焊接掩膜底下，这种情况下，污染物不能被除去。

（2）化学结合。化学结合是通过价键耦合或通过"吸附现象"形成的，污染物通过化学结合粘附到基板上，非常难以去除。当两种材料的两个或更多原子共享其最外层电子而结合在一起时就叫做价键耦合，PCB上的铜箔和元器件引脚上所形成的金属氧化物就是价键耦合例子。吸附有物理吸附和化学吸附。物理吸附发生在分子级，它始终在PCB表面进行，材料的弱的分子力能引起接触材料的吸引亲合力，这种吸附通常称为润湿。由于强化的化学反应而发生的吸附为化学吸附。例如，当熔融焊料与清洁的铜表面接触时发生化学吸附，形成金属间化合物。另一种化学吸附是伴随层压基板固化不足，在焊接工艺期间焊接掩膜上形成有机物间化合物而产生的。

**2. 去污染机理**

（1）去污染方法。去除SMA上污染物，就是要削弱和破坏污染物与SMA之间的结合。采用适当的溶剂，通过污染物和溶剂之间的溶解反应和皂化反应提供能量，就可破坏它们之间的结合，使污染物溶解在溶剂中，从而达到从SMA上去除污染物的目的。用溶剂溶解污染物的方法已经广泛地用在SMA的焊后清洗中，而且可以重复清洗，直至全部污染物被溶解和从粘着的表面上去除。但是，由于SMA上组装了不同引脚间距、不同形状和不同类型的SMD，使清洗工艺操作比在PCB表面上进行更复杂和困难。所以，对于SMA的清洗，重要的是了解溶剂的物理和化学性能，以及掌握应用工艺，以便在限定时间内达到期望的洗净度等级。

（2）皂化反应。松香酸和海松酸是松香的主要成分，它几乎完全不溶于水，因此，用水溶性清洗工艺去除松香焊剂剩余物时会出现一些困难。为解决该问题，采用表面活性剂和水一起与松香剩余物发生化学反应，使之转化成可溶于水的脂肪酸盐（皂），这就是"皂化反应"（如图8-2所示）。氢氧化胺和单乙醇胺是用于松香的皂化反应的典型表面活性剂。皂化反应是去除松香剩余物污染的常用方法，其目的是采用安全的水清洗溶液代替溶剂基的清洗溶液。

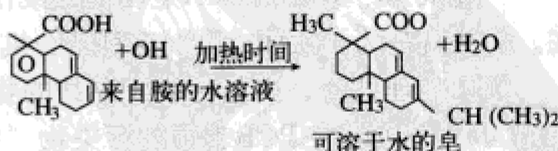


图8-2　皂化反应

但是，这种方法对于复杂的SMA的清洗有一定困难，即使采用高压喷射和去离子水漂洗也难以获得满意的清洗效果。所以，对于采用松香型焊剂焊接的SMA，有效的清洗方法是采用第4章介绍的清洗溶剂和相应清洗工艺及清洗设备，才能获得符合一定标准要求的洗净度等级。

**3. 去污溶剂的物理和化学性能**

（1）润湿和表面张力。一种溶剂要溶解和去除SMA上的污染物，首先必须能润湿被污染的PCB，扩展并润湿到污染物上。一般在溶液与PCB接触部位，由溶液滴与PCB的接触角（润湿角）来计算润湿程度。实验表明，润湿角$\sigma$>90°时不润

湿；$0^\circ<\sigma<90^\circ$时，存在局部润湿。最佳的清洗情况是PCB自发地扩展，出现这种情况的条件是润湿角$\sigma$接近于$0^\circ$。

润湿角$\sigma$所下式所示：$\cos\sigma=\dfrac{r_s-r'}{r'}$

式中：$r_s$——固体基板的表面自由能；$r'$——溶剂的表面张力；$\sigma$——溶剂滴形成的平衡润湿角。

利用这个方程的困难是很难确定表面自由能，所以采用了固体的临界自由能概念。溶剂的表面张力小于固体的临界自由能，将发生完全润湿。但如果表面张力较大，就会导致局部不润湿。表8-3a列出PCB固体材料的临界自由能值，表8-3b列出溶剂的表面张力值。上述数值表明，普通清洗用的溶剂能润湿基板和元器件所用的材料。当溶剂的表面张力低时，将促进溶剂在基板上的润湿和扩展。表面张力高时，溶剂润湿不足或润湿很差，会导致溶剂成球状。

**表8-3　(a) 聚合物的临界自由能值 (b) 溶剂20˚C时的表面张力**

| (a) 聚　合　物 | $r_s$ (N/cm) |
|---|---|
| 聚四氟乙烯 | $1.85\times10^{-4}$ |
| 聚丙烯 | $2.90\times10^{-4}$ |
| 聚乙烯 | $3.1\times10^{-4}$~$3.15\times10^{-4}$ |
| 聚苯乙烯 | $3.0\times10^{-4}$~$3.6\times10^{-4}$ |
| 聚氯乙烯 | $3.9\times10^{-4}$ |
| 聚碳酸酯纤维 | $2.9\times10^{-4}$ |
| 酰胺－表氯醇树脂 | $5.2\times10^{-4}$ |
| 脲甲醛树脂 | $6.1\times10^{-4}$ |
| 环氧玻璃 | $3.8\times10^{-4}$ |
| **(b) 溶　　剂** | **$r'$ (N/cm)** |
| 三氯三氟乙烷（含氟烃） | $1.77\times10^{-4}$ |
| 1,1,1,－三氯乙烷（含氯烃） | $2.51\times10^{-4}$ |
| 乙醇 | $2.23\times10^{-4}$ |
| 水 | $7.27\times10^{-4}$ |

(2) 毛细作用。润湿能力佳的溶剂不一定能保证从SMA的SMD下面、SMD之间以及复杂的接触点周围有效地去除污染物，溶剂还必须易于渗透、进入和退出这些细狭空间，并能反复循环直至污染物被去除。溶剂在有限的细狭空间流动类似普通的毛细作用，由于SMA的复杂形状和致密缝隙的存在，要求溶剂具有很强的毛细作用，以便能渗入这些致密缝隙。表8-4列出溶剂渗入水平毛细管的渗透率，从中可知，水在SMA致密缝下的毛细管渗透率最大，但其表面张力高，所以难以从缝隙中排出，致使清洗水的交换率低，难以有效清洗。碳氟化合物溶剂混合物的毛细管渗透率最低，但表面张力也最低，所以渗透率和交换率折中的物理性能

最佳，因此这类溶剂清洗SMA的效果最佳。

**表8-4 溶剂渗入水平毛细管的渗透率**

| 溶剂 | T(°C) | $r\cos\theta/n$ |
|---|---|---|
| 含氟烃混合物 | 25 | 26.4 |
| 含氯烃混合物 | 25 | 31.4 |
| 水 | 25 | 40.4 |
| 含氟烃混合物 | 40 | 28.0 |
| 含氯烃混合物 | 73 | 40.34 |
| 水 | 70 | 112.7 |

（3）黏性。溶剂的黏性也是影响溶剂有效清洗的重要性能。一般来说，在其他条件相同的情况下，溶剂的黏度高，在SMA上缝隙中的交换率就低，这意味着需要更大的力才能使溶剂从缝隙中排出。因此，溶剂的黏度低有助于它在SMD下和缝隙中完成多次交换。

（4）密度。在清洗工艺中，当溶剂蒸汽凝聚在SMA上时，重力将使凝聚的溶剂向下流动。水平放置的组件，溶剂倾向于进一步扩展，溶剂密度越高，扩展越均匀。溶剂密度高，将有利于减少向大气的损失，使运行成本降低。所以在满足其他性能要求前提下，选择密度高的溶剂有利于清洗。

（5）沸点温度。清洗温度对清洗效率有一定的影响。在多数情况下，溶剂温度都控制在其沸点或接近沸点的温度范围。不同的溶剂混合物有不同的沸点，溶剂温度的变化主要影响它的物理性能。蒸气凝聚是清洗周期的重要环节，溶剂沸点的提高，允许获得较高温度的蒸气，而较高的蒸气温度会导致更大量的蒸气凝聚。所以，提高溶剂温度通常会提高污染物的可溶解性和增大溶剂的溶解污染物量，在短时间内去除大量污染物。这种关系在联机传送带式波峰焊接和清洗系统中最重要，因为清洗剂传送带速度必须与波峰焊接传送带速度相一致。

（6）溶解能力。在清洗SMA时，只有少量溶剂能接触元器件底下的污染物。因此，必须采用溶解能力高的溶剂，特别是要求在限定时间内完成清洗时，如在联机传送带清洗系统中要这样考虑。但要注意到溶解能力高的溶剂对被清洗零件的腐蚀性也大。多数焊膏和双波峰焊接中采用松香型焊剂，所以，在比较各种溶剂的溶解能力时对松香型焊剂剩余物要特别重视。

（7）溶剂喷淋的影响。采用静态溶剂或其蒸气清洗SMA，清洗效果一般不会很佳。在一定的机械力作用下进行清洗，如喷淋、超声和蒸气喷淋浸没，可以大大提高去除污染物的效果。大多数清洗系统中，溶剂喷淋所加的压力为343~1715Pa。但在清洗SMA时，由于元器件与PCB的间隔、元器件大小、清洗机类型、传送带速度和溶剂类型等因素的影响，这种低速喷淋难以获得满意的清洗效果。特别对那些难清洗的SMA，如元器件与PCB的间隔小于0.254mm和引脚数

较多的元器件组成的组件，去除污染物就很困难。为此，需通过控制溶剂的密度和速度等参数来提高清洗能力。

① 污染物颗粒所受曳力。污染物颗粒所受曳力可用下式表示：

$$F_d = CP\frac{V^2}{2}A$$

式中：$F_d$——颗粒上的曳力；$C$——曳力系数；$P$——溶剂密度；$V$——溶剂速度；$A$——颗粒的正投影面积。

从上式可知，溶剂的密度和速度是两个可控制污染物颗粒所受曳力的因素。为了得到比较高的曳力可以选择高密度溶剂。曳力随速度的平方而增加，因此，使用高密度溶剂和进行高速喷淋，将获得易于去除污染物的曳力。

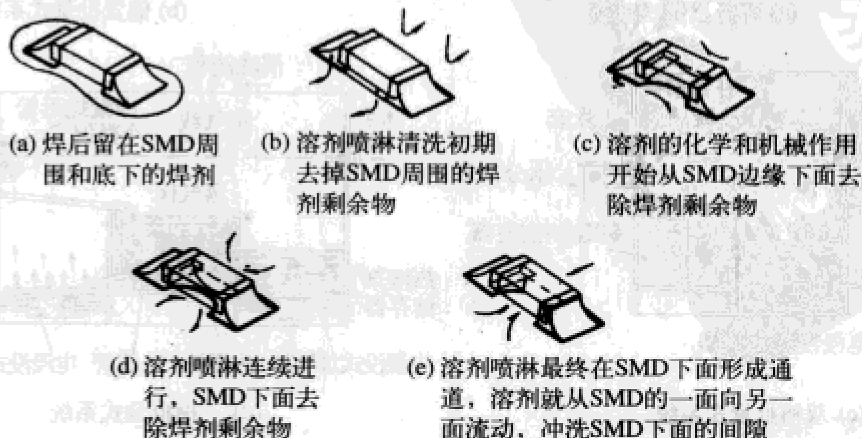
② 溶剂的速度。溶剂的密度是一个固定的因素，而溶剂的速度是一个可控制的变化因素。由于SMD底面是最难清洗的区域，因此我们必须了解溶剂的速度对这个区域的影响。溶剂流在SMD下面的速度可用下列方程式表示：

$$V = \frac{(P_1 - P_2)y^2}{12ux}$$

式中：$V$——溶剂速度；$P_1$——溶剂的入口压力；$P_2$——溶剂的出口压力；$y$——SMD和基板之间的间隔；$x$——SMD的长度；$u$——溶剂的动态粘性。

此等式称为“二壁规律”。根据此等式，溶剂的粘性和元器件长度与SMD下的溶剂速度成反比；溶剂黏度低时，有利于获得高的溶剂速度；随着SMD长度的增加，溶剂速度减小；溶剂速度与SMD和基板之间距离的平方成正比。

以上两个等式给出在SMD下的曳力和溶剂速度。但它只有在SMD下从一边到另一边存在溶剂冲洗通道时才适用，而这种情况的出现取决于元器件与PCB间的间隔。对于片式元器件，元器件下面与PCB的间隙仅0.025mm~0.076mm,在焊接后通常不存在开放通道，焊剂剩余物将充满这个间隙。但是，当采用溶剂喷淋清洗时，焊剂剩余物将被去除，其原理与步骤如图8-3所示。



(a) 焊后留在SMD周围和底下的焊剂

(b) 溶剂喷淋清洗初期去掉SMD周围的焊剂剩余物

(c) 溶剂的化学和机械作用开始从SMD边缘下面去除焊剂剩余物

(d) 溶剂喷淋连续进行，SMD下面去除焊剂剩余物

(e) 溶剂喷淋最终在SMD下面形成通道，溶剂就从SMD的一面向另一面流动，冲洗SMD下面的间隙

图8-3 溶剂喷淋时从片式元器件下去除焊剂剩余物的渐进步骤

当在SOIC和PLCC等器件下面喷淋清洗时，从一开始就能形成连续溶剂冲洗通道，这是由于SMD和PCB间的间隙较大。为此，去除大型SMD下面的焊剂剩余物比去除片式元器件下面的剩余物更容易。

## 8.3 清洗工艺及其设备

### 8.3.1 批量式溶剂清洗技术

#### 1. 批量式清洗系统结构特点

批量式溶剂清洗技术用于清洗SMA较普遍，其清洗系统有许多类型。最基本的有四种：环形批量式系统、偏置批量式系统、双槽批量式系统和三槽批量式系统，如图8-4所示。这些溶剂清洗系统都采用溶剂蒸气清洗技术，所以也称为蒸气脱脂机。它们都设置了溶剂蒸馏部分，并按下述工序完成蒸馏周期：

（1）采用电浸没式加热器使煮沸槽产生溶剂蒸气；

（2）溶剂蒸气上升到主冷凝蛇形管处，冷凝成液体；

（3）蒸馏的溶剂通过管道流进溶剂水分离器，去除水分；

（4）去除水分的蒸馏溶剂通过管道流入蒸馏储存器，从该储存器用泵送至喷枪进行喷淋；

（5）流通管道和挡墙使溶剂流回到煮沸槽，以便再煮沸。

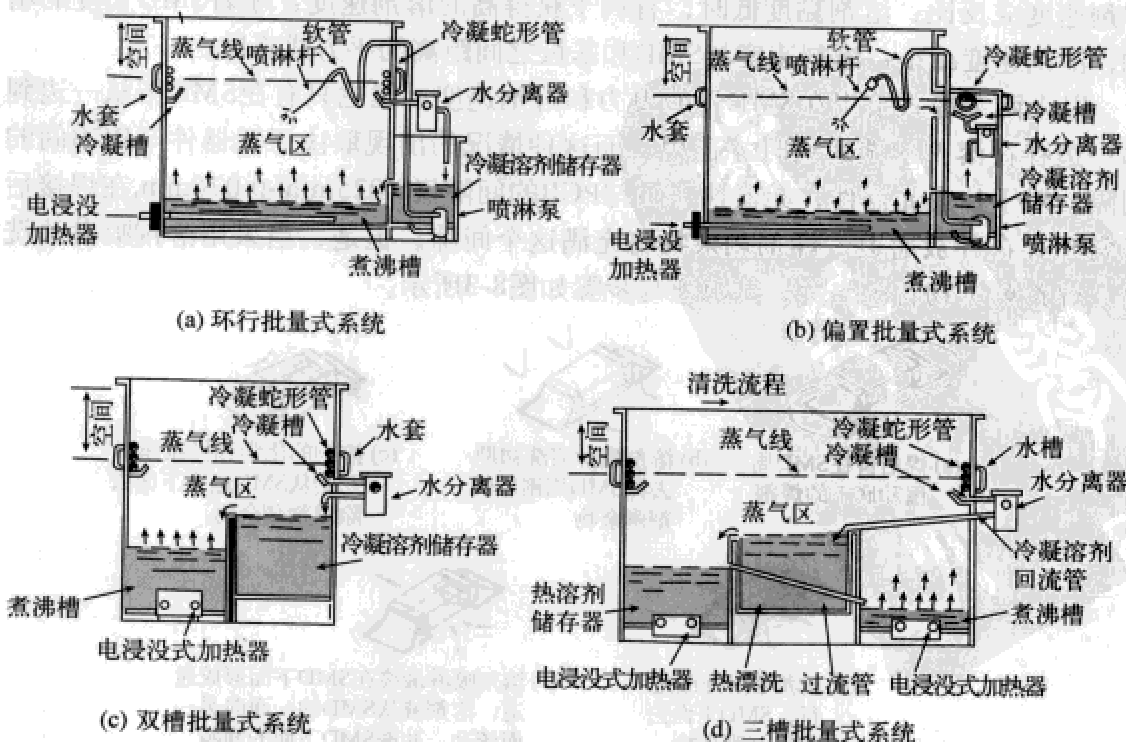



图8-4 四种主要类型的批量式清洗机示意图

另一类批量式系统采用电转换加热器蒸发溶剂，用冷却水凝聚溶剂，该类系统也可利用可调加热致冷系统完成同样的过程。

**2. 清洗原理**

无论何种溶剂蒸气清洗系统，其清洗技术原理基本相同：需清洗的SMA放入溶剂蒸气中后，由于其相对温度较低，故溶剂蒸气能很快凝结在上面，将SMA上面的污染物溶解、再蒸发，并带走。若加以喷淋等机械力和反复多次进行蒸气清洗，其清洗效果会更好。

**3. 清洗工艺要点**

（1）煮沸槽中应容纳足量的溶剂，以促进均匀迅速地蒸发，维持饱和蒸气区。还应注意从煮沸槽中清除清洗后的剩余物。

（2）在煮沸槽中设置有清洗工作台，以支撑清洗负载。要使污染的溶剂在工作台水平架下面始终保持安全水平，以便使装清洗负载的筐子上升和下降时，不会将污染的溶剂带进另一溶剂槽中。

（3）溶剂罐中要充满溶剂并维持在一定水平，以使溶剂总是能流入煮沸槽中。

（4）当设备启动之后，应有充足的时间（通常最少15min）形成饱和蒸气区，并进行检查，确信冷凝蛇形管达到操作手册中规定的冷却温度。然后再开始清洗操作。

（5）根据使用量，周期性地用新鲜溶剂更换煮沸槽中的溶剂。

**4. 操作注意事项**

（1）操作人员应戴上安全眼镜，以免使溶剂进入眼睛导致严重人身事故。

（2）清洗装载装置若是托盘筐架式结构，待清洗SMA应垂直放在托盘上再装人筐架中，慢慢向下移动放入煮沸槽上面的蒸气区内，一般不应把组件浸没在煮沸槽中。

（3）采用喷枪喷淋的场合，应待被清洗SMA在蒸气中停留到溶剂停止在组件上凝聚后再进行喷枪喷淋。

（4）喷淋时，溶剂蒸气消失。当组件需继续在溶剂蒸气中再进行一个清洗周期时，需要附加时间以重新形成饱和蒸气区（通常为60~90s）。

（5）清洗周期完毕，从清洗机中提出装载筐架应缓慢。机器停机后，应盖上机盖防止溶剂损失。

## 8.3.2 连续式溶剂清洗技术

**1. 连续式溶剂清洗技术特点**

连续式清洗机一般由一个很长的蒸气室组成，内部又分成几个小蒸气室，以适应溶剂的阶式布置、溶剂煮沸、喷淋和溶剂储存，有时还把组件浸没在煮沸的溶剂中。通常，把组件放在连续式传送带上，根据SMA的类型，以不同的速度运

行，水平通过蒸气室。溶剂蒸馏和凝聚周期都在机内进行，清洗程序、清洗原理与批量式清洗类似，只是清洗程序是在连续式的结构中进行的。连续式溶剂清洗技术适用范围广泛，对量小或量大的SMA清洗都适用，其清洗效率高。

采用连续式清洗技术清洗SMA的关键是选择满意的溶剂和最佳的清洗周期。清洗周期由连续清洗的不同设计决定。

2. 连续式溶剂清洗系统类型

连续式清洗机按清洗周期可分为以下三种类型：

（1）蒸气—喷淋—蒸气周期。这是在连续式溶剂清洗机中最普遍采用的清洗周期，如图8-5所示。组件先进入蒸气区，然后进入喷淋区，最后通过蒸气区排除溶剂送出。在喷淋区从底部和顶部进行上下喷淋。不论采用哪一种清洗周期，通常在两个工序之间都对组件进行喷淋。开始和最终的喷淋在倾斜面上进行，以利于提高SMD下面溶剂流动的速度。随着高压喷淋的采用，这种清洗周期取得了很大的改进，提高了喷淋速度。典型的喷淋压力范围从4116~13720Pa，这种类型的清洗机常采用扁平、窄扇形和宽扇形等喷嘴相结合，并辅以高压、喷射角度控制等措施进行喷淋。图8-6示出几种类型的喷淋喷嘴。

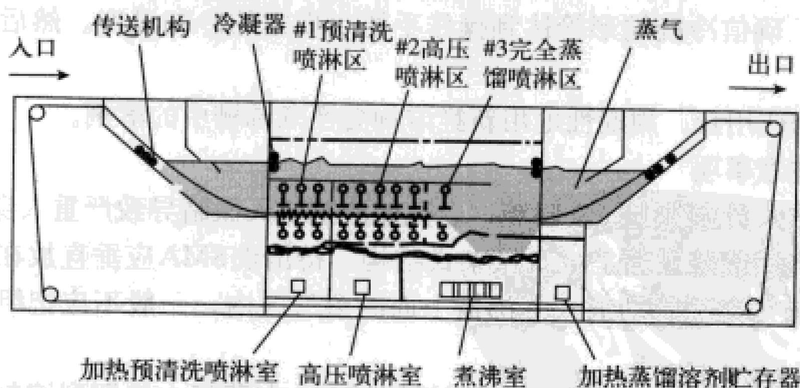


图8-5 采用蒸气—喷淋—蒸气周期的连续式溶剂清洗机示意图

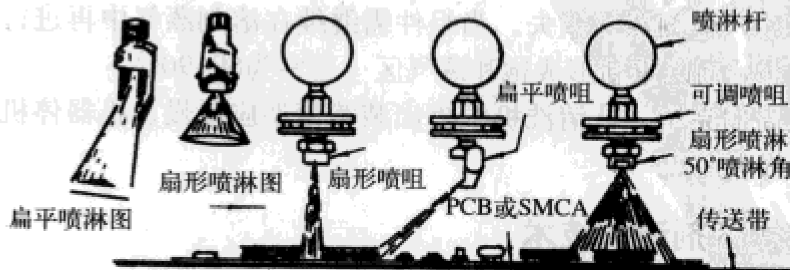


图8-6 扁平、窄扇形和宽扇形喷淋喷嘴示意图

（2）喷淋—浸没煮沸—喷淋周期。采用这类清洗周期的连续式溶剂清洗机主要用于难清洗的SMA。要清洗的组件先进行倾斜喷淋，然后浸没在煮沸的溶剂中，

再倾斜喷淋，最后排除溶剂。

（3）喷淋—带喷淋的浸没煮沸—喷淋周期。采用这类清洗周期的清洗机与第二类清洗机类似，只是在煮沸溶剂上面附加了溶剂喷淋。有的还在浸没煮沸溶剂中设置喷嘴，以形成溶剂湍流。这些都是为了进一步强化清洗作用。这类清洗机在煮沸浸没系统的溶剂水平降低到传送带以下时，清洗周期就变成蒸气—喷淋—蒸气周期。如图8-7所示。

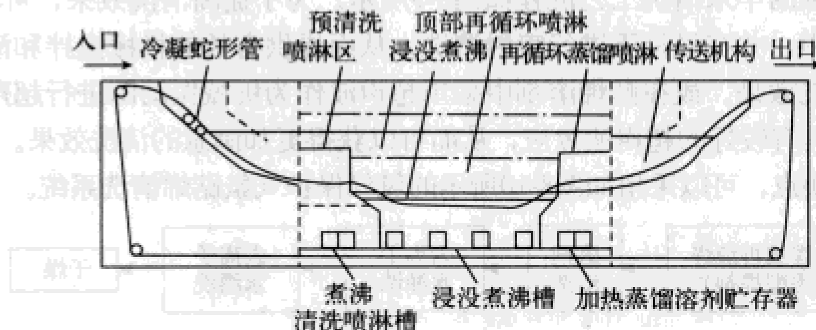


图8-7 带喷淋浸没煮沸——喷淋周期的连续式溶剂清洗机

## 8.3.3 溶剂清洗采用的可调加热制冷系统

高效溶剂清洗机大多采用可调加热制冷系统替代电浸没式加热器与蛇形管水冷系统，通过闭环管路系统进行溶剂煮沸和凝聚。图8-8示出可调回收制冷清洗系统的加热（溶剂煮沸）和冷却（溶剂凝聚）周期。

标准的闭环可调加热回收制冷溶剂清洗系统按照制冷冷却系统的原理工作。制冷剂进入蒸发器，伴随蒸发和吸热，转变成低压的热气体。此时溶剂在蒸发器的冷却的蛇形管上凝聚。压缩机3把低压的热气体（制冷剂）从蒸发器抽出，由活塞压缩该气体，并通过排放管把加热气体送入螺旋蛇形管4。被压缩的制冷剂热气体把潜热传给蛇形管周围的溶剂，使溶剂煮沸。然后制冷剂进入辅助冷凝器4a，并转变成液体传送到接收罐5以备蒸发器1使用。在冷凝器和蒸发器之间的扩张阀6根据蒸发器的要求控制液体流动，液体返回到蒸发器重复冷却和加热周期。

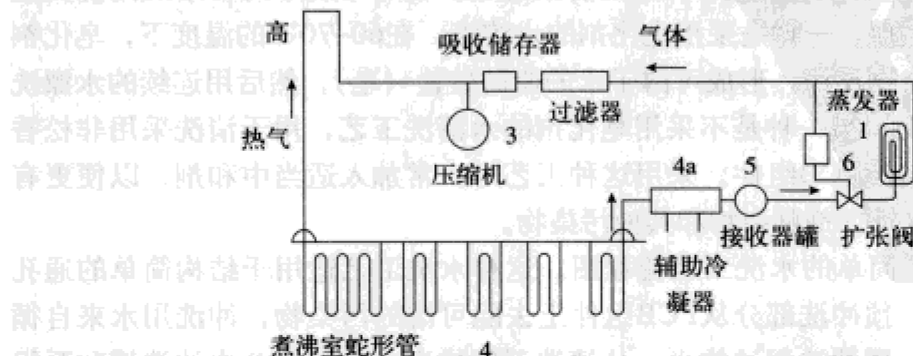


图8-8 用于连续式和批量式溶剂清洗机（采用可调加热回收技术）的制冷系统框图

### 8.3.4 水清洗工艺技术

**1. 半水清洗工艺技术**

半水清洗属水清洗范畴，所不同的是清洗时加入可分离型的溶剂。清洗过程中溶剂与水形成乳化液，洗后待废液静止，可将溶剂从水中分离出来。

半水清洗先用萜烯类或其他半水清洗溶剂清洗焊接好的SMA，然后再用去离子水漂洗。采用萜烯的半水清洗工艺流程如图8-9所示。为了提高清洗效果，可将SMA浸没在萜烯溶剂中，并在浸没下进行喷射清洗，从而提供有效的机械搅拌和清洗压力，获得最佳的清洗效果。或在萜烯溶剂中采用超声波作为机械振动源进行超声波清洗，由于萜烯溶剂具有较好的超声波效应，从而可以获得更加满意的清洗效果。针对萜烯溶剂燃点低的缺点，可以采用如图8-10所示的氮气保护气氛萜烯清洗系统。

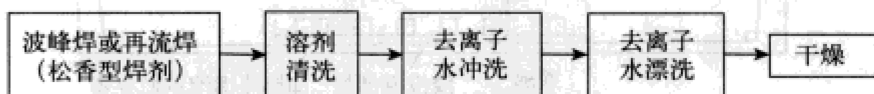


图8-9 半水清洗工艺流程

由于萜烯等半水清洗溶剂对电路组件有轻微的副作用，所以溶剂清洗后必须用去离子水漂洗。可以采用流动的去离子水漂洗，也可以采用蒸气喷淋漂洗工艺。在实际应用中，应根据需要选用不同的半水清洗溶剂和相应的工艺和设备。然而不论采用哪种清洗溶剂和工艺，废渣和废水的处理是半水清洗中的一个重要环节，要使排放物符合环保的规定要求。

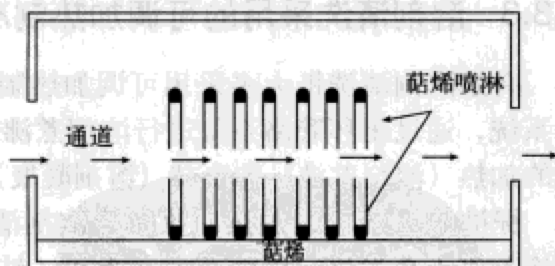


图8-10 氮气保护气氛萜烯喷射清洗系统

**2. 水清洗工艺技术**

水清洗技术是替代CFC清洗SMA的有效途径。图8-11所示为常用的两种类型水清洗技术工艺流程。一种是采用皂化剂的水溶液，在60~70°C的温度下，皂化剂和松香型焊剂剩余物反应，形成可溶于水的脂肪酸盐（皂），然后用连续的水漂洗去除皂化反应产物。另一种是不采用皂化剂的水清洗工艺，用于清洗采用非松香型水溶性焊剂焊接的PCB组件。采用这种工艺时，常加入适当中和剂，以便更有效地去除可溶于水的焊剂剩余物和其他污染物。

图8-12示出了简单的水洗工艺流程图。这种水洗工艺适用于结构简单的通孔PCB组件的清洗。预冲洗部分从PCB组件上去除可溶的污染物，冲洗用水来自循环漂洗用过的水。预冲洗用过的水，从清洗系统排出。冲洗部分由冲洗槽和泵组成，冲洗槽内设有浸没式加热器。冲洗槽一天排污水一次，或根据PCB组件的污

染情况酌定。漂洗部分结构和冲洗部分相同，只是不设置浸没式加热器。最后用高纯度水进行漂洗。清洗过的PCB组件要进行吹干和红外加热烘干。

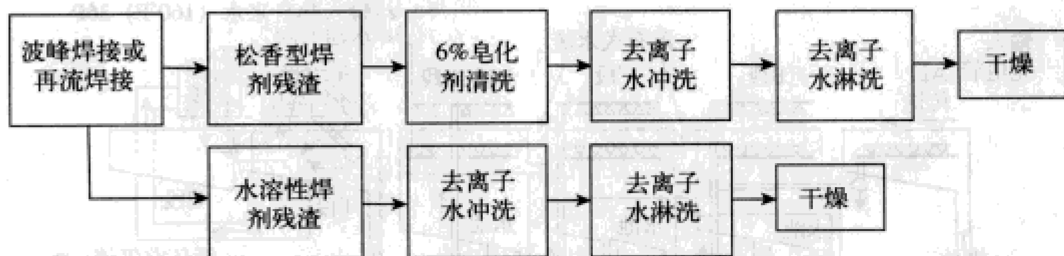



图8-11 水清洗技术流程图

对于大批量电路组件的水清洗，可采用如图8-13所示的连续式水洗系统。对于结构复杂的电路组件，可采用图8-14所示的水洗工艺流程和相应的水洗系统进行水洗。采用这种工艺流程的水洗系统，其基本结构与简单水洗系统相同，也是由预冲洗、冲洗、漂洗、最终漂洗和干燥等五部分组成。但是，为了对SMA进行成功的水清洗，增加了强力冲洗和漂洗。另外，还采用了闭环水流系统，实现了水的循环处理和再使用，比普通水洗系统节省了水，节省热能60%~70%。该类水洗系统有的还设计了进水处理器，它不仅用来处理新水，而且还对来自预冲洗槽的水再处理和再使用。进水处理包括水的软化和去离子，通过这种处理去除来自水系统和预冲洗槽水中的离子污染物，其中包括钙离子和镁离子。这些离子污染物沉积到SMA上，不仅有腐蚀性，而且会造成电气故障。这种水洗系统在冲洗和漂洗之间采用了化学隔离或脱水工序，以防止冲洗工序中污染了的水被带入漂洗槽，影响漂洗效果。

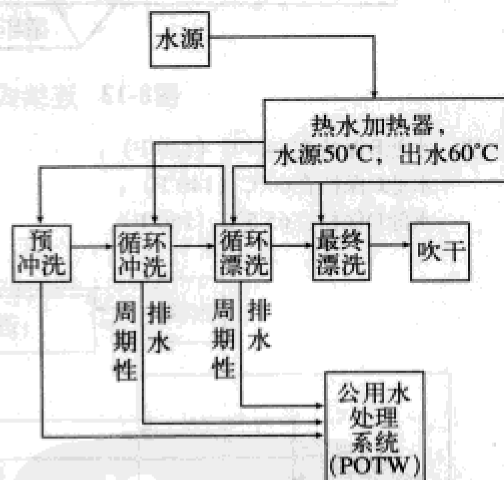



图8-12 简单清洗工艺流程图

水洗系统有三个十分重要的辅助部分。第一个是一个非常纯净的水源，这是成功地进行水洗的充分条件。第二个是水加热系统，一般要求清洗用水的温度是54℃~74℃。第三个是公用水处理。清洗电路组件排放的污水必须按照环保要求，按规定处理到排放水的指标。

**3. 水清洗工艺中的水处理方案**

水清洗工艺的一个重要问题是水的处理，如从哪里获得需要的水、如何净化、清洗完的废水排放到何处，以及如何使整个过程符合环保的要求等等。

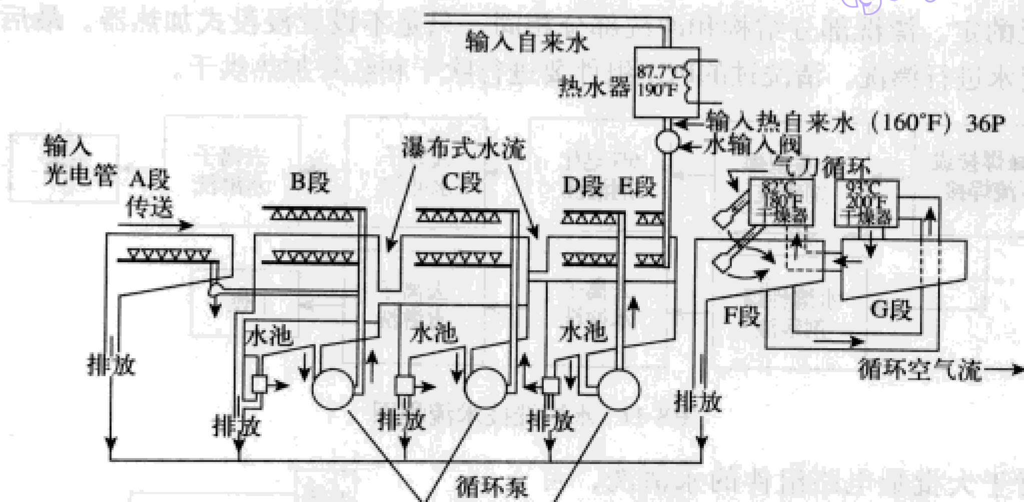



图8-13　连续式水清洗系统示意图

注：水池B保持在54.4°C（130°F），
　　水池C保持在60°C（140°F），
　　水池D保持在65.5°C（150°F）。

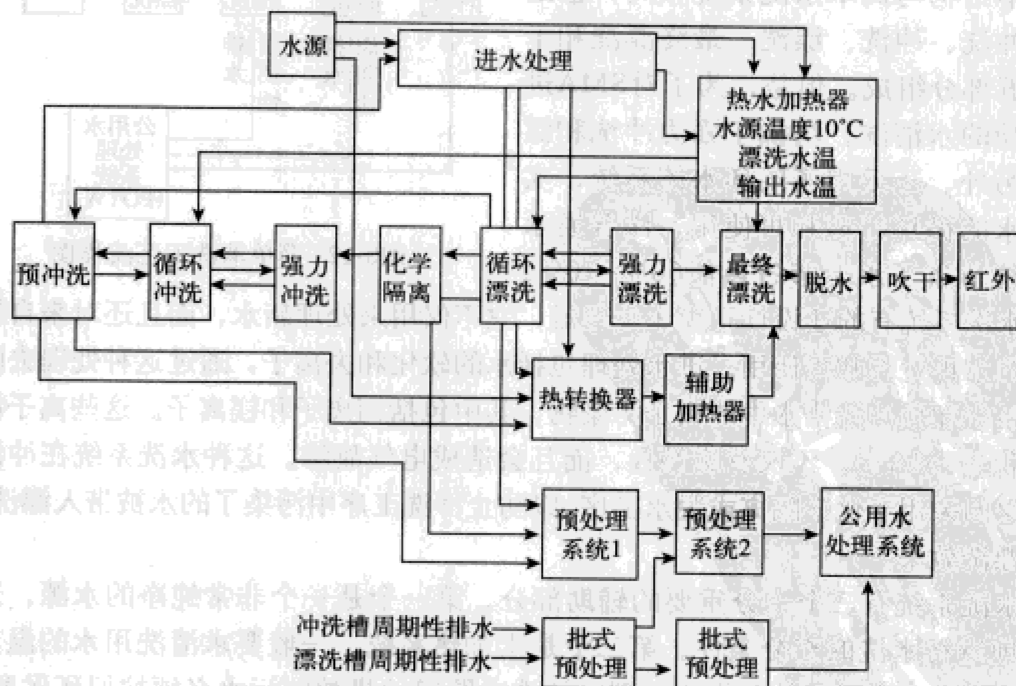



图8-14　大而复杂的水洗系统工艺流程图

如图8-11所示，可以把水清洗分为两大类：①只使用水而没有任何化学添加物的直接水洗工艺；②在水中添加皂化剂、清洁剂或其他添加物的改进型水洗工艺。直接水洗工艺对有机酸及水溶性助焊剂的清洗非常理想，水（特别是去离子

水）是一种颇具威力的极化溶剂，能够清除焊接后留下的酸性残留物等极化污染物，可是单独靠水却无法清除非极化污染物如松香型焊剂中的粘性树脂。如果不在水中添加非极化成分，有害的酸和微粒可能会被树脂覆盖而无法清除，最终使PCB的电气性能下降。添加剂中最常用的是皂化剂，它是一种碱性清洁剂，内含能溶解树脂的表面活化剂。可将树脂溶化使其被水冲洗掉。有添加物的水洗工艺比直接水洗工艺复杂得多，水处理技术也相应要复杂一些。

（1）直接水洗工艺

直接水洗工艺使用的在线式水洗设备一般由预清洗区、带水槽的循环冲洗区、带水槽的循环漂洗区、终洗区以及烘干区组成。清洗过程中干净的水从终洗区进入，再依次流到前面几个区域，最后从预清洗区的排水管排出。而待清洗的PCB则由预清洗区开始，逐渐往水越来越干净的区域移动，最后到达烘干区。理想情况下，终洗区的水是非常纯净的，具有低导电和高阻抗等特性，使得烘干过程中留在PCB上的残留物相对于SMA清洁度的要求来说，其离子特性完全可以忽略。

水洗设备的进水量一般是每分钟3~5Gal（1Gal＝4.546L），水温在60℃左右，入水通常要经过碳离子交换处理，达到满足电路板清洁度的去离子（DI）纯度。在确定这种水清洗工艺成本时，一般应考虑以下因素：自来水入水质量、水费及排污费、加热成本（电或燃气）、DI水槽更新频率与费用。采用水处理技术后可以使工艺效率更高并且更加符合环保要求，这部分具体内容包括：通过使用热交换系统进行热能回收、入水（不管有无预处理）循环利用。

热回收系统使水洗设备出口的热水通过一个热交换器，从而回收大量热能。投入到热回收系统的资金在较短的时间内就能得到良好的经济回报。在直接水洗系统中使用完全再循环可将用水量降低十倍，所需要的水仅用于补充蒸发、排气和干掉的损失。这种系统有多种构造，但大多数都包括一个带储水槽的循环系统、再循环泵及控制系统、水槽系统和加热器。先进的水槽装置能将重金属如铅、铜等分离出来并把它们集中在一起，以待专门的废物处理人员对其进行处理。

去离子的过程是在水通过GAC、阴离子和阳离子槽时进行的。普通系统得到的阻抗值一般能达到1M ~3M 。如果再加一个混合离子槽还可进一步去除水中的离子，最高能达到18.2M 的DI纯度。当水槽的去离子能力降到设定值以下时，就必须要对其更新，它主要受工艺中焊剂和污染物的数量以及补充入水质量的影响。在很多情况下，进入的自来水中溶有很多固体物质，这加大了水槽的负担，会增加更新的频率和费用。为解决这个问题补充入水可以用一个单独型强制水流通过渗透膜的逆渗透（RO）系统过滤提纯。水流分离后，部分水通过渗透膜，另一部分用于保持膜的清洁。这样产生的水阻抗在25 000~50 000 /cm 之间，比自来水的2 000~3 000 /cm 好了很多，因为过程中没有增加任何致污物，剩余的废水也可直接排出。当自来水的质量较差时，在循环系统中增加逆渗透系统是有效的。

(2) 改进型水洗工艺

在改进型水洗工艺中，无论是机器还是水处理技术其复杂度都有所增加，因为皂化剂或其他任何一种化学添加剂都非常昂贵，所以这些化学材料必须循环使用。除了成本因素外，皂化剂还含有较高的离子成分，所以绝不能残留在PCB上，同时它对水槽的寿命也有很大影响。

不同的设备制造商采用不同的技术使皂化剂残留最少。不过较为有效的一种方法是在清洗区与循环漂洗区之间增加一个中间漂洗区，有时它也被称为化学材料分离区，该技术将皂化剂从板上冲洗掉，然后再用风刀将它刮掉。这种清洗机有三个出水口，分别设在清洗槽、中间漂洗区和漂洗区。

从效果上看，漂洗水流如同直接水洗工艺一样，可用传统方式再循环利用。中间漂洗区的水流会残留一些皂化剂，并可能含铅。在环保规定比较严格的地方，中间漂洗区和清洗区排出的水在排出前必须经过中间处理去除重金属，一些地方甚至还对水的pH值有要求，需要通过蒸发处理才能符合规定。

(3) 水清洗工艺要点

和任何生产应用一样，工艺监控、设备维护和正确操作同样也是水清洗循环系统成功应用的关键。在应用水清洗系统时，还应特别注意下述几个问题。

① 材料更新。水清洗系统经常遇到的问题是去离子水槽树脂更新的时间间隔长度，它取决于几个因素，包括工艺的用水量（与运行时间直接相关）、入水质量（可使用逆渗透预处理改善）以及工艺中污染物的数量和类型。实际上任何带离子的物质都会增加树脂底层的负担，同样，有机物质也会阻塞活性炭粒槽，另外，水溶性胶带和掩膜的使用也常常带来一些问题。应该咨询这些材料的制造商，以便知道它们对碳离子交换过程的影响。

② 水槽寿命。水槽寿命缩短通常是因为生产时间或PCB数量增加，用水越多以及处理的污染物越多，水槽就需要越快更新。清洗机的工作时间及PCB产量应记录并保存下来，以确定水槽更新周期。

③ 安全正常操作。要按照设备制造商的指导进行操作，这一点对重金属分离槽特别重要，这些槽必须按所建议的时间间隔由专门的废物处理人员将其从系统中取出进行处理，否则会使铅漏到下一个槽中。

## 8.3.5 超声波清洗

适用于SMA焊后清洗技术的还有超声清洗和离心清洗，这两种清洗技术在替代CFC的清洗方法中可适用于多种溶剂，并能显著地提高清洗效果。

### 1. 超声波清洗原理

超声波清洗的基本原理是“空化效应”（Cavittation Effect），当高于20kHz的高频超声波通过换能器转换成高频机械振荡传入清洗液中时，超声波在清洗液中疏

密相间地向前辐射，使清洗液流动并产生数以万计的微小气泡，这些气泡在超声波纵向传播成的负压区形成和生长，而在正压区迅速闭合（熄灭）。这种微小气泡的形成、生长及迅速闭合称为空化现象。在空化现象中，气泡闭合时形成约1 000大气压力的瞬时高压，就像一连串的小“爆炸”，不断地轰击被清洗物表面，并可对被清洗物的细孔、凹位或其他隐蔽处进行轰击，使被清洗物表面及缝隙中的污染物迅速剥落。

**2. 超声波清洗的优点**

（1）效果全面，清洁度高。

（2）清洗速度快，提高了生产率。

（3）不损坏被清洗物表面。

（4）减少了人手对溶剂的接触机会，提高工作安全度。

（5）可以清洗其他方法达不到的部位。例如，可清洗不便拆开的配件的缝隙处。

（6）节省溶剂、热能、工作面积、人力等。

**3. 超声波清洗设备的构成**

超声波清洗设备的基本构成如图8-15所示。

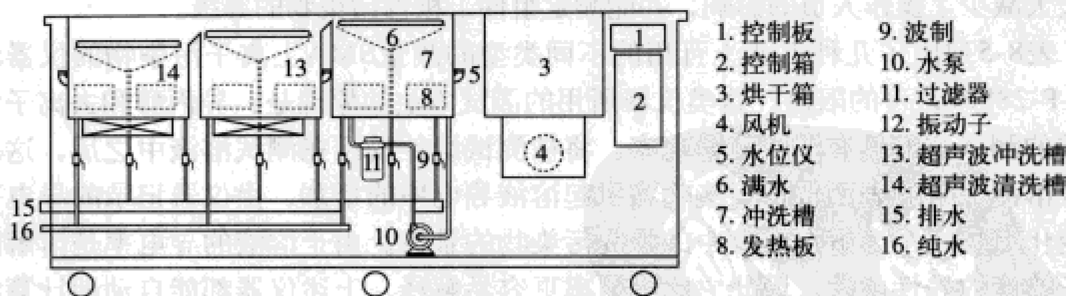



图8-15 超声波清洗设备的基本构成图

## 8.3.6 污染物的测试

**1. 基本测试方法**

污染物的基本测试方法有目测法、溶剂萃取法、表面绝缘电阻（SIR）法等，可根据需要选用其中的一种或多种方法进行测试。

目测法是借助光学显微镜的定性检测，使用范围有限。溶剂萃取法是被测PCB浸入一种测试溶剂中，然后测量它的离子电导率，并将其折算成每单位面积的板面含多少微克氯化钠当量。溶剂萃取法在SMA污染物的测试中使用较多。表面绝缘电阻法具有直观和定量、可应用范围宽、可定位被测污染区域等特点，但它必须在被测PCB表面附加测试电路。图8-16所示为在测试PLCC、SOIC器件时采

用的一种标准化的梳型测试电路。表面绝缘电阻法的测试值还与它的测试条件相关，例如温度、湿度对其都会产生影响，所以需要有较严格的测试环境和测试条件。

2. 极性污染物的测试

测量溶剂萃取液的电阻率是衡量在已清洗过的组件上剩余的离子污染程度的普通方法。这种方法在美国的几个军用标准Mil-P-28809、DOD-STD-2000-1、Mi1-P-46842、Mil-P-55110和WS6536中都有规定。在Mil-P-8809中规定的测试方法适合手工测试，操作方便但受操作人员的影响较大。特别是尚无有效方法萃取SMD下面的污染物，所以其测试结果往往不能反映SMD下面的离子污染情况。可以借助仪器测试法解决该类问题，它大大减少了操作人员的影响，并能测定组件上极性污染物的等级。

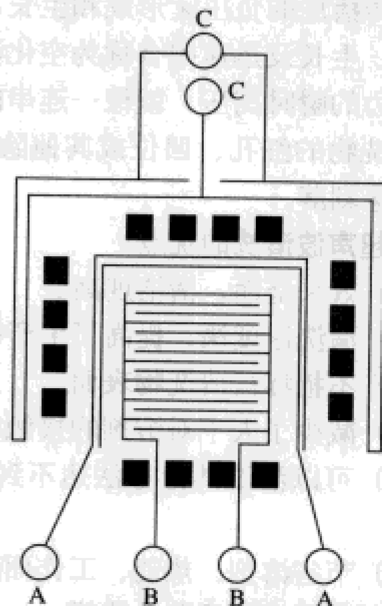


图8-16　梳型测试电路

表8-5列出了几种工业上可用的不同类型的测量SMA上离子污染物的仪器和Mil-P-28809认可的限值。这类仪器所用的测试方法的原理是：异丙醇和去离子水组成的测试溶液具有很低的导电率，将被测试组件浸没在测试溶液中之后，这种混合溶液溶解的表面极性污染物将引起溶液导电率的增加，由仪器记录的导电率的变化将反映出溶解在溶液中的极性污染物的量值。由于溶液的导电率是溶解的离子浓度的线性函数，因此它比电阻率更容易解释。上述仪器都能自动地计算污染物的等级和提供每平方英寸NaCl当量的微克读数（$\mu g\ NaCl/in^2$）。虽然每种仪器具有不同的灵敏度和精度等级，但其结构基本相同。这类仪器典型的结构由记录泵、混合基去离子柱、测试室和测试罐、导电率测试用电池、测量表、积分仪、磁搅拌器、绘图仪和控制处理机或计算机组成。图8-17示出这类仪器的典型组成。仪器中的三个溶液罐顺序循环使用，直至获得预选的导电率基线，测试罐与测试回路隔离。

表8-5　测量SMA上极性污染物的几种仪器

| 仪器名称 | 制造厂家 | Mil-P-28809认可的限值（$\mu g\ NaCl/in^2$） |
|---|---|---|
| Contaminometer | Protonique | — |
| Ion Chaser | Dupont | 32.0 |
| Ionograph | Alpha Metals | 20.0 |
| Omega Meter | Kinco Industries | 14.0 |

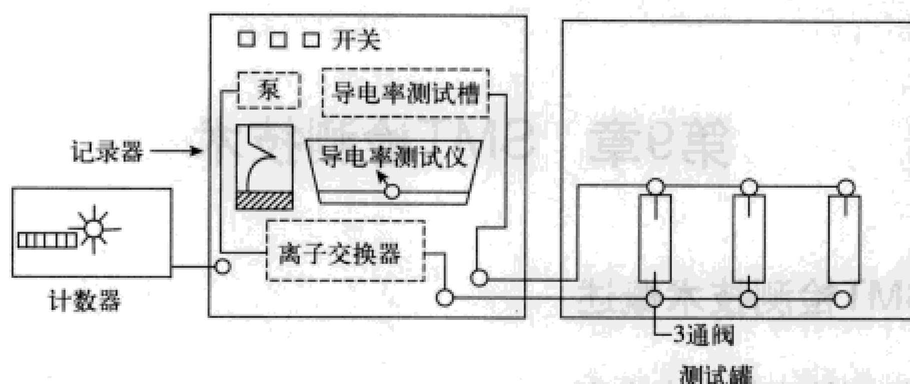



图8-17 导电率溶液萃取仪简图

上述测试仪除了用于进行清洗工艺的控制和比较分析外，还可用于比较不同类型溶剂、焊剂和焊膏对SMA可靠性的影响。

**3. 非极性污染物和焊剂剩余物的测试**

尽管非极性污染物或有机污染物不像极性污染物那样严重影响SMA的可靠性，但是在有些情况下，它能引起某些类型的机械或电气故障。它会影响优良的成型涂覆和焊接掩膜的表面粘着状态，并成为焊盘和测试探针之间的电气绝缘体。

测量非极性污染物一般采用手工测试方法，IPC有几种规范方法，并在IPC-TM-650中作了介绍，如“in-house”法、“红外分光光度测定法”等。也有其他一些测试方法，如Dow Chemical公司开发的一种紫外线吸收分光光度测定分析测试法，用来定量地确定留在SMA上的松香剩余物。

# 第9章　SMT检测技术

## 9.1　SMT检测技术概述

### 9.1.1　检测技术的基本内容

检测是保障SMA可靠性的重要环节。随着SMT的发展和SMA组装密度的提高，以及电路图形的细线化、SMD的细间距化、器件引脚的不可视化等特征的增强，给SMT产品的质量控制和相应的检测工作带来了许多新的难题。同时，也使得在SMT工艺过程中采用合适的可测试性设计方法和检测方法越来越重要。SMT检测技术的内容很丰富，基本内容包含：可测试性设计、原材料来料检测、工艺过程检测和组装后的组件检测等。

可测试性设计主要为在线路设计阶段进行的PCB电路可测试性设计，它包含测试电路、测试焊盘、测试点分布、测试仪器的可测试性设计等内容。原材料来料检测包含PCB和元器件的检测，以及焊膏、焊剂等所有SMT组装工艺材料的检测。工艺过程检测包含印刷、贴片、焊接、清洗等各工序的工艺质量检测。组件检测含组件外观检测、焊点检测、组件性能测试和功能测试等。

表9-1所示为来料检测的主要内容和基本检测方法。表9-2所示为组装工艺过程中的主要检查项目。

表9-1　来料检测主要内容和基本检测方法

| 检 测 项 目 | 检 测 方 法 |
|---|---|
| 元器件：可焊性<br>引线共面性<br><br>使用性能 | 湿润平衡试验、浸渍测试仪<br>光学平面检查、<br>贴片机共面性检测装置<br>抽样检测 |
| PCB：尺寸与外观检查<br>阻焊膜质量<br>翘曲和扭曲<br>可焊性<br><br>阻焊膜完整性 | 目检、专业量具<br><br>热应力测试<br>旋转浸渍测试、波峰焊料浸<br>渍测试、焊料珠测试<br>热应力试验 |

（续）

| 检测项目 | 检测方法 |
| --- | --- |
| 焊膏：金属百分比 | 加热分离称重法 |
| 焊料球 | 再流焊接 |
| 黏度 | 旋转式黏度计 |
| 粉末氧化均量 | 俄歇分析法 |
| 焊锡：金属污染量 | 原子吸附测试 |
| 助焊剂：活性 | 铜镜实验 |
| 浓度 | 比重计 |
| 变质 | 目测颜色 |
| 黏结剂：黏性 | 黏结强度实验 |
| 清洗剂：组成成分 | 气体包谱分析法 |

**表9-2 组装工艺过程中的主要检查项目**

| 组装工序 | 工序管理项目 | 检查项目 |
| --- | --- | --- |
| PCB | 表面污染<br>损伤、变形 | 入库/进厂时检查、投产前检查 |
| 焊膏印刷 | 网板污染<br>焊膏印刷量、膜厚 | 印刷错位、模糊、渗漏、膜厚 |
| 点胶 | 点胶量、温度 | 位置、拉丝、溢出 |
| SMD贴装 | 元器件有无、位置、极性正反、装反 | |
| 再流焊 | 温度曲线设定、控制 | 焊点质量 |
| 贴片胶固化 | 温度控制 | 黏结强度 |
| 焊后外观检查 | 基板受污染程度<br>焊剂残渣<br>组装故障 | 漏装、翘立、错位、贴错（极性）、装反、引脚上浮、润湿不良、漏焊、桥连、焊锡过量、虚焊（少焊锡）、焊锡珠 |
| 电性能检测 | 在线检测<br>功能检测 | 短路、开路<br>制品固有特性 |

## 9.1.2 自动光学检测（AOI）技术

### 1. AOI技术基本原理

随着PCB导体图形的细线化、SMT器件小型化和SMT组件的高密度化发展的需要，自动光学检测（AOI）技术迅速发展起来，并已在SMT检测技术中广泛采用。

AOI原理与贴片机和印刷机所用的视觉系统的原理相同，通常采用设计规则检验（DRC）和图形识别二种方法。DRC法按照一些给定的规则（如所有连线应以焊点为端点，所有引脚宽度不小于0.127mm，所有引脚之间的间隔不小于0.102mm等）检查电路图形。这种方法可以从算法上保证被检验电路的正确性，而且具有

制造容易、算法逻辑容易实现高速处理、程序编辑量小、数据占用空间小等特点，为此采用该检验方法的较多。但是该方法确定边界能力较差，常用引脚检验算法根据求得的引脚平均值确定边界位置，并按设计确定灰度级。

图形识别法是将存储的数字化图像与实际图像比较。检查时按照一块完好的PCB或根据模型建立起来的检查文件进行比较，或者按照计算机辅助设计中编制的检查程序进行。精度取决于分辨率和所用检查程序，一般与电子测试系统相同，但是采集的数据量大，数据实时处理要求高。然而由于图形识别法用实际设计数据代替DRC中既定设计原则，具有明显的优越性。

### 2. AOI技术检测功能

AOI具有元器件检验、PCB光板检查、焊后组件检查等功能。AOI检测系统进行组件检测的一般程序为：自动计数已装元器件的PCB，开始检验；检查PCB有引脚一面，以保证引脚端排列和弯折适当；检查PCB正面是否有元器件缺漏、错误元器件、损伤元器件、元器件装接方向不当等；检查装接的IC及分立器件型号、方向和位置等；检查IC器件上标记印制质量检验等。一旦AOI发觉不良组件，系统向操作者发出信号，或触发执行机构自动取下不良组件。系统对缺陷进行分析，向主计算机提供缺陷类型和频数，对制造过程作必要的调整。AOI的检查效率与可靠性取决于所用软件的完善性。AOI还具有使用方便、调整容易、不必为视觉系统算法编程等优点。表9-3所示为典型AOI设备及其可检测内容。

表9-3 典型AOI检测设备及其可检测内容

| 公司 | 机型 | 元件缺漏 | 元件识别 | 反接 | SMD方向 | 焊点 | 引线 | 参考价/万美元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ha chine Vision | EV-5000 | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | |
| Conex | Checkpoint5500 | ✓ | | ✓ | | | ✓ | |
| Controted Aotomation 0 | Interscan 150 | ✓ | | ✓ | | | ✓ | |
| Integrated Automation | Teknispec1000 | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | 9 |
| Aplied Intellingent Syatem | Pixie1000 | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Antomatix | Automatix | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Cam systems | AQC-10 | ✓ | | | | | | 3.5 |
| Ham Inbustries | Hamsccan | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | 0.6 |
| Inxdustrial Vision Systems | Bottom Viewer | ✓ | | | | | ✓ | 2.5 |
| Robomatin Intelligence | PCB256 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | 5~11 |
| Octek | Octek | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Synthetic Vision | TFI | ✓ | | | | | ✓ | 17 |
| Dynapert(贴片机用) | MPs500 | | | | | ✓ | ✓ | |
| Panasonic(贴片机用) | VIM | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | |

### 3. AOI系统构成与原理

以日本PI-2000检测设备为例叙述AOI系统构成，它以AOI设计规则为基础，

又附加了比较检查功能。采用了两个摄像镜头，其检验系统构成如图9-1所示。检查子系统用一维图像传感器对印制线的图形摄像，所得图像信号进行校正、高速A-D变换处理后送至控制子系统。控制子系统对缺陷进行判断，并令检查台前后直线移动进行扫描，以使一维图像传感器能得到二维（平面）的图形输出信号。检查结果是实时地、并和扫描同步地用墨水在PCB有缺陷的地方做出标记，也可把有缺陷的地方依次放大，并在监视器上显示，用目视就能进行核对。

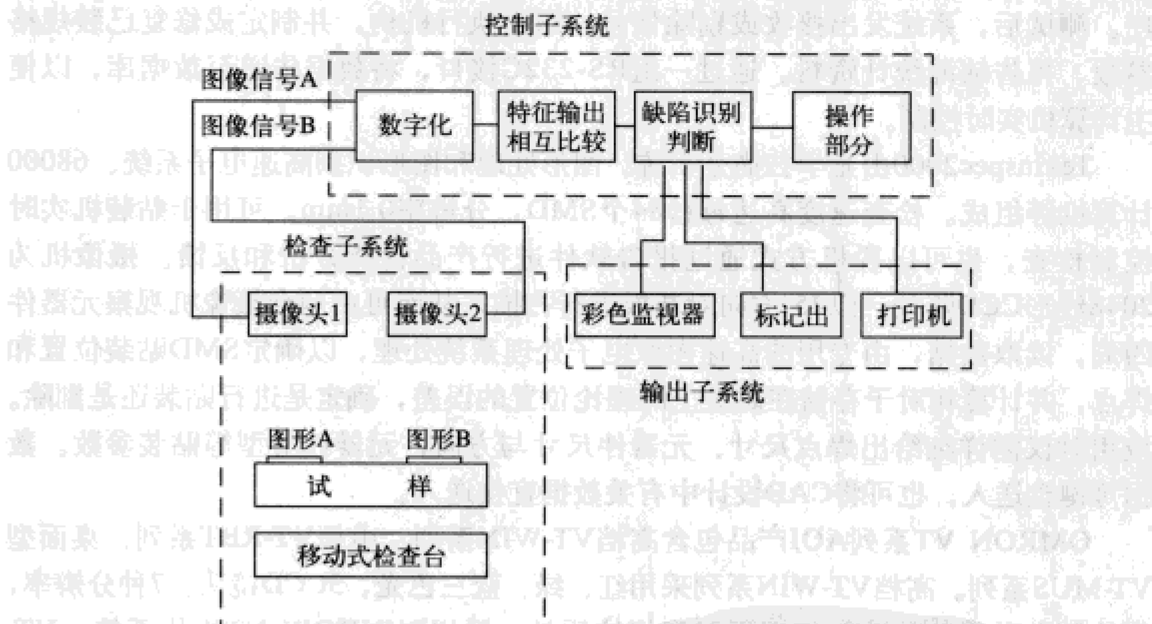


图9-1 AOI检测系统

系统操作是通过CRT显示器以对话形式进行的。输出子系统由数字图像监视器、实体图像监视器、打印机和同步示波器组成。将缺陷位置的数字化彩色图像和实体图像分别显示在监视器上，同时打印缺陷和一个数。用同步示波器可以观测图像信号和数字化的限幅电平等图形，同时也使照度和数字化的限幅电平等变更设定调整更容易。PI-2000机的检查速度最高是1.24m/min，分辨率高，最小像素尺寸为10μm，有高分辨/低分辨二档，可以切换。印制机尺寸为500mm×650mm×2块。最小线宽/线间距为160/80μm。对被检图形的形状无限制。

**4. 典型AOI系统简介**

EV-5000应用形状代码检查元件形状，应用数学形貌技术区别元件引出端和焊膏。通过区别基板和元器件颜色灰度级，识别元件数量和颜色标记。系统采用IBM PC控制系统，可通过RS-232接口与主机连接。自编程时，系统扫描模板后询问诸如型号、数量、标志和公差等分类数据。操作使用时，系统进行检查和记录，按规定格式报告检查结果。可以同时进行焊膏印刷检查、元器件贴装检查等两种以上检查状态。

Interscan1500检查基板反面,Interscan1000XT检查基板正面，两个系统都采用Interson2000 处理机。四个RS-232接口与主计算机连接，接收主计算机CAD数据，传送批报告，对缺陷、测量结果和管理报告进行跟踪。对有缺陷元件做标记，并以电视屏幕显示，自学编辑采用菜单程序。

Checkpoint5500可以同时检查元器件标志、基板数量和批标记，摄像机装于离基板38.1mm处，无需精密固定。基板送入后系统读取识别码，以调用相应测试程序。测试后，系统发出接收或剔除信号，送至执行机构，并制定或修复已装规格参数，报告缺漏统计资料。通过一组RS-232C接口，将数据传递至数据库，以便主计算机实时控制。

Tekinspec2000由光学扫描分系统、图形处理和图形识别高速电子系统、68000计算机等组成。检查速度高达每秒84个SMD，分辨率0.1mm。可用于贴装机实时控制检查，也可以脱机方式通过报告软件进行产品性能分析和反馈。摄像机为2048线形CCD阵列，以45°方向对基板进行扫描，从而可由两台摄像机观察元器件四周，读取数据，由专用的高速图像电子处理系统处理，以确定SMD贴装位置和焊点，并计算相对于存储在磁盘上的理论位置的误差，确定是进行贴装还是剔除。应用时仅需详细给出焊点尺寸、元器件尺寸与方向，元器件类型等贴装参数。数据可键盘送入，也可将CAD设计中有关数据直接送入。

OMRON VT系列AOI产品包含高档VT-WIN系列、中档VT-RBT系列、桌面型VT-MUS系列。高档VT-WIN系列采用红、绿、蓝三色光，3CCD镜头，7种分辨率，能检测各种组装故障和细间距引脚焊接质量，采用WINDOW NT操作系统。VT-RBT系列采用橙、蓝二色光，用于再流焊接前后对位置和焊点的检测以及焊膏印刷检测，采用WINDOWS NT操作系统。VT-MUS系列采用“彩色高亮度”专利技术，能检测到传统白色光源设备无法检测的焊点形状，为多品种、小批量产品组装质量检测而专门设计。

## 9.2 来料检测

### 9.2.1 元器件来料检测

#### 1. 元器件性能和外观质量检测

元器件性能和外观质量对SMA的可靠性有直接影响，来料首先要根据有关标准和规范对元器件进行检查。并要特别注意元器件的性能、规格、包装等是否符合订货要求，是否符合产品性能指标要求，是否符合组装工艺和组装设备生产要求，是否符合存储要求等。

#### 2. 元器件可焊性检测

元器件引脚（电极端子）的可焊性是影响SMA焊接可靠性的主要因素，导致

可焊性发生问题的主要原因是元器件引脚表面氧化。由于氧化较易发生，为保证焊接可靠性，一方面要采取措施防止元器件在焊接前长时间暴露在空气中，并避免其长期储存等；另一方面在焊前要注意对其进行可焊性测试，以利及时发现问题和进行处理。

可焊性测试最原始的方法是目测评估，基本测试程序为：将样品浸渍于焊剂，取出去除多余焊剂后再浸渍于熔融焊料槽，浸渍时间达实际生产焊接时间的两倍左右时取出进行目测评估。这种测试实验通常采用浸渍测试仪进行，可以按规定精确控制样品浸渍深度、速度和浸渍停留时间。

定量可焊性测试方法有焊球法、润湿平衡试验法等，SMT的可焊性测试常用润湿平衡试验法。润湿平衡试验的基本原理如图9-2所示，测试仪上夹持样件的机构连接到一个平衡器上，在平衡器中设计有将样件所受的力转换成模拟信号的线性电路。测试时，样件按预定深度浸渍熔融焊料，起初焊料液面被向下压成弯月面形状，这是由于焊料的内聚力大于熔融焊料与样件（引脚）之间的粘附力，使润湿角$\theta$大于90°。焊料下弯月面的表面张力$F_r$的垂直分量和浮力$F_R$方向相同，都向上推样件。当样件达到焊接温度时，样件与熔融焊料的粘附力大于焊料的内聚力，熔融焊料开始润湿样件，使弯月面逐渐上弯直至$\theta$等于90°，样件仅受到浮力的作用。接着，熔融焊料继续润湿样件呈上弯月面，$\theta$小于90°，产生向下的拉力作用，直至表面张力$F_r$的垂直分量和浮力$F_R$相等，达到润湿平衡。上述过程中，随着样件浸渍时间的变化，样件引脚润湿的焊料量增加，受力也发生变化，以自动记录仪可跟踪测试到该受力$F$的变化曲线如图9-3所示。$F$力由下式表示：

$$F=F_r\cos\theta-F_R$$

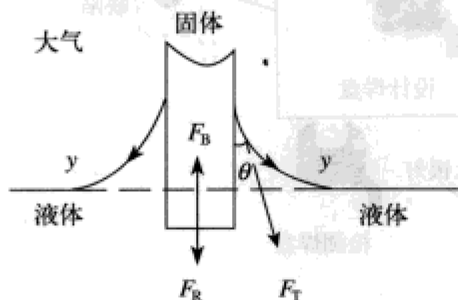



图9-2 润湿平衡测试原理

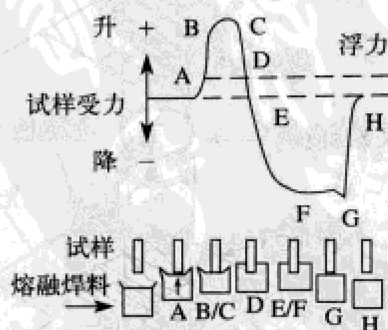



图9-3 润湿平衡测试样件受力曲线

**3. 元器件引脚共面性检测**

表面组装技术是在PCB表面贴装元器件，为此，对元器件引脚共面性有比较严格的要求，一般规定必须在0.1mm的公差区内。这个公差区由二个平面组成，一个是PCB的焊区平面，一个是器件引脚所处平面。如果器件所有引脚的三个最低点所处同一平面与PCB的焊区平面平行，各引脚与该平面的距离误差不超出公

差范围，则贴装和焊接可以可靠进行，否则可能会出现引脚虚焊、缺焊等焊接故障。

元器件引脚共面性检测的方法较多，最简单的方法是将元器件放在光学平面上，用显微镜测量非共面的引脚与光学平面的距离。目前使用的高精度贴片系统，一般都有自带机械视觉系统，可在贴片之前对元器件引脚共面性进行自动检测，将不符合要求的元器件排除。

## 9.2.2 PCB来料检测

### 1. PCB尺寸与外观检测

PCB尺寸检测内容主要有加工孔的直径、间距及其公差、PCB边缘尺寸等。

外观缺陷检测内容主要有：阻焊膜和焊盘对准情况；阻焊膜是否有杂质、剥离、起皱等异常状况；基准标记是否合格；电路导体宽度（线宽）和间距是否符合要求；多层板是否有剥层等。实际应用中，常采用PCB外观测试专用设备对其进行检测。典型设备主要由计算机、自动工作台，图像处理系统等部分组成。这种系统能对多层板的内层和外层、单/双面板、底图胶片进行检测；能检出断线、搭线、划痕、针孔、线宽线距、边沿粗糙及大面积缺陷等。图9-4所示为PCB线路缺陷AOI检测装置及其检测原理。图9-5示意为PCB线路缺陷激光检测原理。图9-6所示为PCB线路凹凸缺陷检测原理。

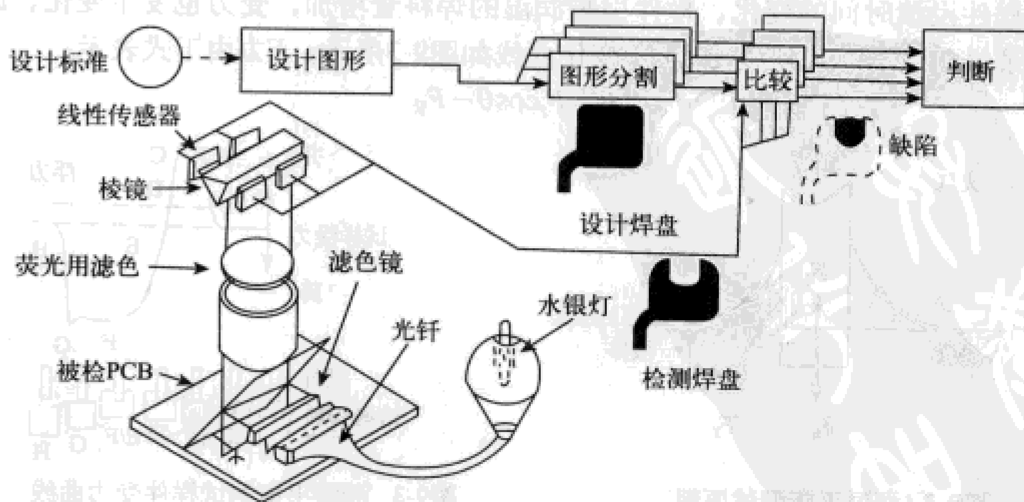



图9-4 PCB线路缺陷检测装置及其原理

### 2. PCB的翘曲和扭曲检测

设计不合理和工艺过程处理不当都有可能造成PCB的翘曲和扭曲，其测试方法在IPC-TM-650等标准中有规定。测试原理基本为：将被测试PCB暴露在组装工艺具有代表性的热环境中，对其进行热应力测试。典型的热应力测试方法是旋转

浸渍测试和焊料漂浮测试，在这种测试方法中，将PCB浸渍在熔融焊料中一定时间，然后取出进行翘曲和扭曲检测。

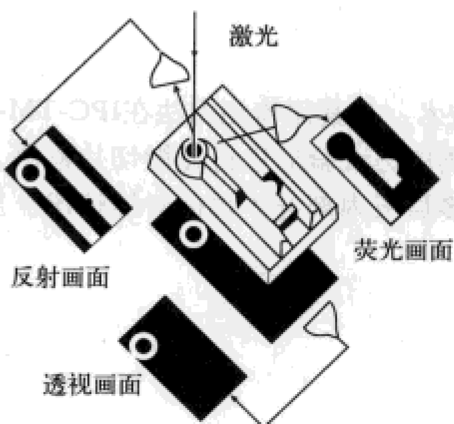



图9-5 PCB线路缺陷检测原理

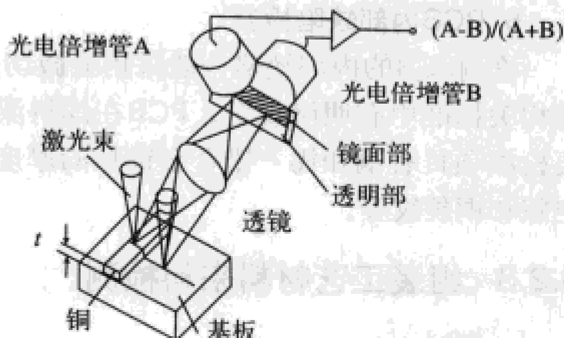



图9-6 线路凹凸缺陷检测原理

人工测量PCB翘曲度的方法是：将PCB的三个角紧贴桌面，然后测量第四个角距桌面的距离。这种方法只能进行初略测估，更有效的方法还有波纹影像方法等。波纹影像方法是：在被测PCB上放置一个每英寸100线的光栅，另设一标准光源在上方45°入射角通过一光栅射到PCB，由光栅在PCB上产生光栅影像，然后用一个CCD摄像机在PCB正上方（0°）观察光栅影像。这时，在整个PCB上可以看到两个光栅之间产生的几何干涉条纹，这种条纹显示了Z轴方向的偏移量，可数出条纹的数量计算PCB的偏移高度，然后通过计算转化成翘曲度。

### 3. PCB的可焊性测试

PCB的可焊性测试重点是焊盘和电镀通孔的测试，IPC-S-804等标准中规定有PCB的可焊性测试方法,它包含边缘浸渍测试、旋转浸渍测试、波峰浸渍测试和焊料珠测试等。边缘浸渍测试用于测试表面导体的可焊性，旋转浸渍测试和波峰浸渍测试用于表面导体和电镀通孔的可焊性测试，焊料珠测试仅用于电镀通孔的可焊性测试。

### 4. PCB阻焊膜完整性测试

在SMT用的PCB上一般采用干膜阻焊膜和光学成像阻焊膜，这二种阻焊膜具有高的分辨率和不流动性。干膜阻焊膜是在压力和热的作用下层压在PCB上的，它需要清洁的PCB表面和有效的层压工艺。这种阻焊膜在锡-铅合金表面的粘性较差，在再流焊产生的热应力冲击下，常常会出现从PCB表面剥层和断裂的现象，这种阻焊膜也较脆，进行整平时受热和机械力的影响下可能会产生微裂纹，另外，在清洗剂的作用下也有可能产生物理和化学损坏。为了暴露干膜阻焊膜这些潜在的缺陷，应在来料检测中对PCB进行严格的热应力试验。这种检测多采用焊料漂浮试验，时间约10~15s，焊料温度约260°C~288°C。当试验时观察不到阻焊膜剥层

现象，可将PCB试件在试验后浸入水中，利用水在阻焊膜与PCB表面之间的毛细管作用观察阻焊膜剥层现象。还可将PCB试件在试验后浸入SMA清洗溶剂中，观察其与溶剂有无物理的和化学的作用。

**5. PCB内部缺陷检测**

检测PCB的内部缺陷一般采用显微切片技术，其具体检测方法在IPC-TM-650等相关标准中有明确规定。PCB在焊料漂浮热应力试验后进行显微切片检测，主要检测项目有铜和锡－铅合金镀层的厚度、多层板内部导体层间对准情况、层压空隙和铜裂纹等。

### 9.2.3 组装工艺材料来料检测

**1. 焊膏检测**

焊膏来料检测的主要内容有金属百分含量、焊料球、黏度、金属粉末氧化物含量等。

（1）金属百分含量。在SMT的应用中，通常要求焊膏中的金属百分含量在85%~92%范围内，常采用的检测方法和程序为：①取焊膏样品0.1g放入坩锅；②加热坩锅和焊膏；③使金属固化并清除焊剂剩余物；④称量金属重量：金属百分含量＝金属重量/焊膏重量×100%。

（2）焊料球。常采用的焊料球检测方法和程序为：①在氧化铝陶瓷或PCB基板的中心涂敷直径12.7mm、厚度0.2mm的焊膏图形；②将该样件按实际组装条件进行烘干和再流；③焊料固化后进行检查。

（3）黏度。SMT用焊膏的典型黏度是200~800Pa·s，对其产生影响的主要因素是焊剂、金属百分含量、金属粉末颗粒形状和温度。一般采用旋转式黏度剂测量焊膏的黏度，测量方法可见相关测试设备的说明。

（4）金属粉末氧化物含量。金属粉末氧化是形成焊料球的主要因素，采用俄歇分析法能定量检测金属粉末氧化物含量，但价格贵且费时。常采用下列方法和程序进行金属粉末氧化物含量的定性测试和分析：①称取10g焊膏放在装有足够花生油的坩锅中；②在210°C的加热炉中加热并使焊膏再流，这期间花生油从焊膏中萃取焊剂，使焊剂不能从金属粉末中清洗氧化物，同时还防止了在加热和再流期间金属粉末的附加氧化；③将坩锅从加热炉中取出，并加入适当的溶剂溶解剩余的油和焊剂；④从坩锅中取出焊料,目测即可发现金属表面氧化层和氧化程度；⑤估计氧化物覆盖层的比例，理想状态是无氧化物覆盖层，一般要求氧化物覆盖层不超过25%。

**2. 焊料合金检测**

SMT工艺中一般不要求对焊料合金进行来料检测，但在波峰焊接和引脚浸锡工艺中，焊料槽中的熔融焊料会连续溶解被焊接物上的金属，产生金属污染物并

使焊料成分发生变化，最后导致不良焊接。为此，要对其进行定期检测，检测周期一般是每月一次或按生产实际情况决定，检测方法有原子吸附定量分析方法等。表9-4列出了美国QQ-S-571E规定的焊料中金属污染物的含量极限。

表9-4 焊料中金属污染物的含量极限

| 金属污染物 | 污染物含量极限 | 金属污染物 | 污染物含量极限 |
|---|---|---|---|
| 铝 | 0.005 | 金 | 0.08 |
| 锑 | 0.2~0.5 | 铁 | 0.02 |
| 砷 | 0.03 | 银 | 0.01 |
| 铋 | 0.25 | 锌 | 0.005 |
| 镉 | 0.005 | 其他 | 0.08 |
| 铜 | 0.08 | | |

**3. 焊剂检测**

（1）水萃取电阻率试验。水萃取电阻率试验主要测试焊剂的离子特性，其测试方法在QQ-S-571等标准中有规定，非活性松香焊剂（R）和中等活性松香焊剂（RMA）水萃取电阻率应不小于100 000 ·cm；而活性焊剂的水萃取电阻率小于100 000 ·cm，不能用于军用SMA等高可靠性要求电路组件。

（2）铜镜试验。铜镜试验是通过焊剂对玻璃基底上涂敷的薄铜层的影响来测试焊剂活性。例如，QQ-S-571中规定，对于R和RMA类焊剂，不管其水萃取电阻率试验的结果如何，它不应该有去除铜镜上涂敷铜的活性，否则即为不合格。

（3）比重试验。比重试验主要测试焊剂的浓度。在波峰焊接等工艺中，焊剂的比重受其溶剂蒸发和SMA焊接量影响，一般需要在工艺过程中跟踪检测、及时调整，以使焊剂保持设定的比重，确保焊接工艺顺利进行。比重试验常采用定时取样，用比重计测量的方式进行，也可采用联机自动焊剂比重检测系统连续、自动进行。

（4）彩色试验。彩色试验可显示焊剂的化学稳定程度，以及由于曝光、加热和使用寿命等因素而导致的变质。比色计测试是彩色试验常用方法，当测试者有丰富的经验时，可采用最简单的目测方法。

**4. 其他来料检测**

（1）黏结剂检测。黏结剂检测主要是粘性检测，应根据有关标准规定检测黏结剂把SMD黏结到PCB上的黏结强度，以确定其是否能保证被黏结元器件在工艺过程中受震动和热冲击不脱落，以及黏结剂是否有变质现象等。

（2）清洗剂检测。清洗过程中溶剂的组成会发生变化，甚至会变成易燃的或腐蚀性的，同时会降低清洗效率，所以需要定期对其进行检测。清洗剂检测一般采用气体色谱分析（GC）方法进行。

# 9.3 组装质量检测技术

## 9.3.1 组件质量外观检测

SMT组件贴装质量外观检测是对贴装有SMC/SMD的PCB可视质量进行检测，检测内容包含元器件漏装、翘立、错位、贴错（极性）、装反、引脚上浮、润湿不良、漏焊、桥连、焊锡过量、虚焊（少焊锡）、焊锡珠等，比光板检测更为复杂，一般须借助检测设备进行。最简单的方法是采用借助光学设备的图形放大目测技术。

图形放大目测技术所采用的设备简单，可用一般光学放大镜，也可采用配有CCD摄像机和显示器的光学检测系统。这种检测方法采用人眼观测，或应用摄像机和计算机模拟人工目测，由计算机对焊点外观特征的二维、三维图像的灰度级进行处理来判断SMA和焊点外观缺陷。它只能检测类似图9-7所示的可视焊点外观缺陷情况，检测速度慢，检测精度有限。但由于其检测方便、成本低，在SMA组件的常规检测中被广泛应用。

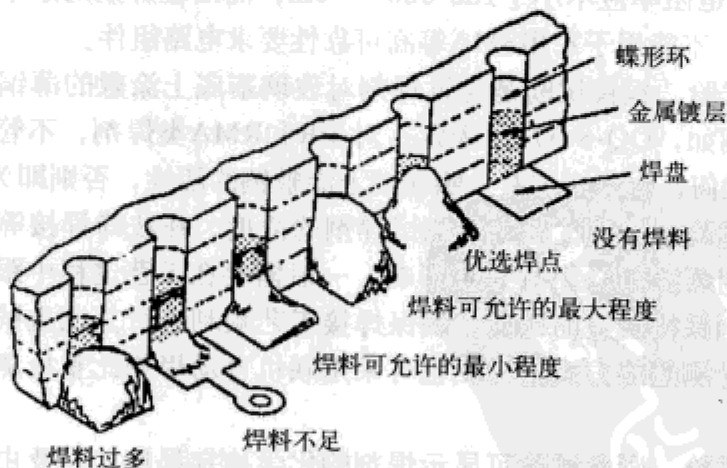



图9-7 无引脚陶瓷芯片载体的焊点表面缺陷

## 9.3.2 焊点质量检测

简单的焊点质量检测可采用借助光学显微设备的显示放大目测检测技术和AOI技术，除此之外，常用的焊点检测技术主要有：激光/红外检测、X射线检测、超声波检测、图像比较AOI技术等。

**1. 激光/红外检测**

激光/红外检测用红外激光脉冲照射焊点，使焊点温度上升而又降回环境温度，利用测得的辐射升降曲线（焊点的热特征）与“标准”曲线比较来判别各种焊点

缺陷。其基本原理如图9-8所示，它由激光发生器发出一定波长（典型为λ=1.06）的激光，经透镜聚光后由光钎传导至检测透镜，聚焦后射向焊点。焊点处受激光照射产生热量，一部分被焊点吸收，另一部分分散发射出来，由红外表面温度计测出其温度数值，通过计算机与用标准板作成的焊点温度升降曲线进行对比分析，判断缺陷的类型。这种系统的红外探头可向四个方向倾斜15°，所以即使对J型内弯引脚焊点也能进行检测。这种检测技术的优点是：检测一致性和可靠性好；检测速度快，每秒可检测10个以上焊点；能对焊接缺陷进行统计分析，便于质量控制。

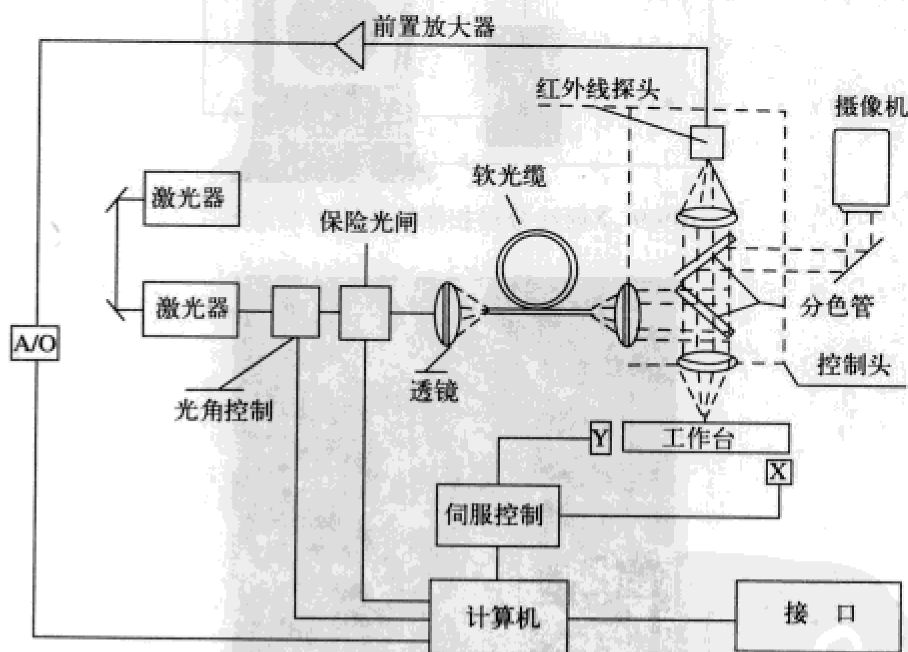



图9-8 红外线检测设备原理图

## 2. X射线检测

X射线检测技术由计算机图像识别系统对微焦X射线透过SMT组件所得的焊点图像经过灰度处理来判别各种缺陷，它采用的是扫描束X射线分层照相技术，其基本原理如图9-9所示。普通X射线（直射式）影像分析只能提供检测对象的二维图像信息，对于遮蔽部分很难进行分析。而扫描X射线分层照相技术能获得三维影像信息，而且可消除遮蔽阴影。与计算机图像处理技术相结合能对PCB内层和SMA上的焊点进行高分辨率的检测。通过焊点的三维影像可测出焊点的三维尺寸、焊锡量和准确客观地确定各种不可视焊接缺陷。还能对通孔的质量进行非破坏性检测。图9-10所示为目测检测合格，而通过X射线检测发现内部空穴的不合格品示意图。这种检测技术还可以用于焊接过程的质量控制，特别适合用于复杂SMA的焊接质量控制和焊后质量评估，是获得高可靠性的SMA的焊接质量评估和焊接工艺过程控制的重要检测技术。

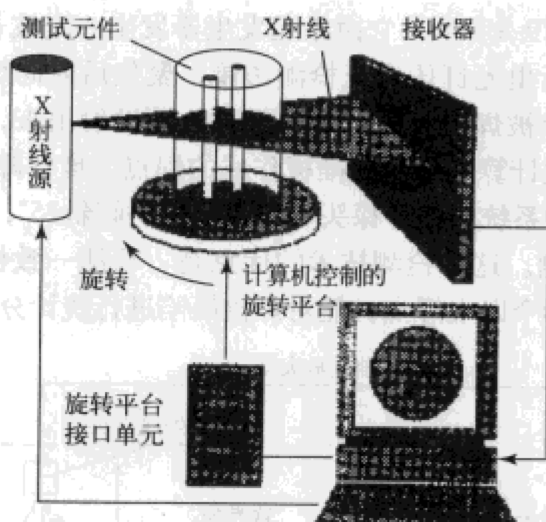



图9-9 X射线分层扫描检测技术原理图

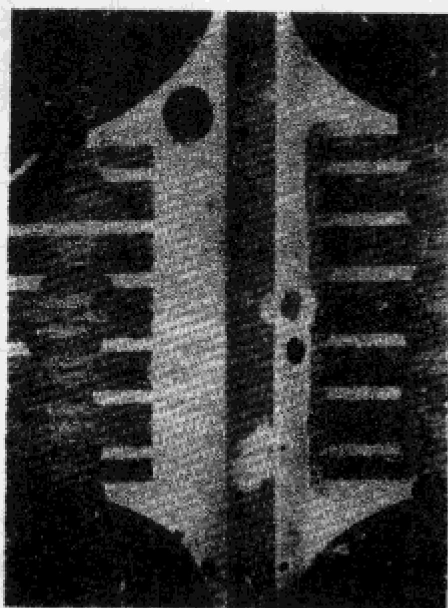


图9-10 X射线检测出的焊点空穴

**3. 超声波检测**

超声波检测技术利用探头输出超声波，检测焊点的频率响应来区别焊点的质量好坏。由于SMT焊点种类繁多，其频率响应特性又受各种因素的影响，无论是确定标准频率响应特性还是获取正确的检测频率响应特性都有较大难度。为此，超声波检测技术在SMT焊点检测中应用不多。

**4. 基于图像比较的AOI**

图像比较AOI技术的检测原理是：利用光学摄像机获取被测焊点三维图像，经

数据化处理后与标准焊点图像进行比较并判断、确定出故障或缺陷的类别、位置。这是一种较新的检测技术，日本日东公司等单位已开发出相关检测设备，图9-11所示为该类检测系统的组成与检测原理。这种系统的三维图像获取原理为：在摄像机前端装有一喇叭反光罩，罩内有三圈灯泡组成的不同角度的LED光源，如图9-12所示。摄像过程中，灯光处理装置控制三圈光源按序发光，由于不同圈光源

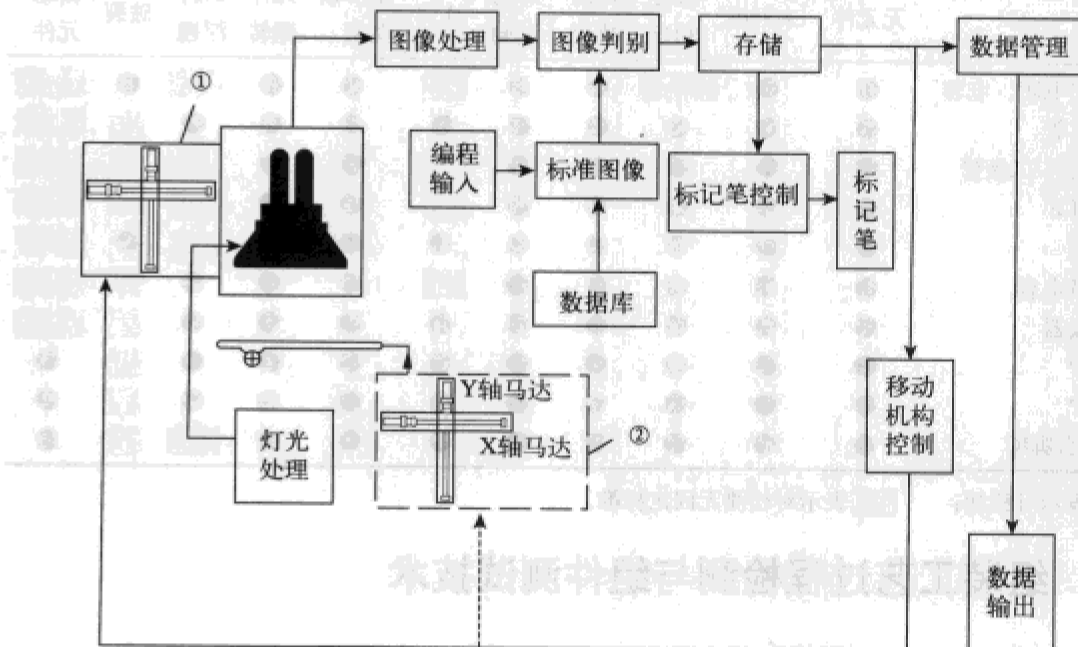



图9-11 图像比较AOI原理

注①：当检查仪安装在贴片机与再流焊之间用此移动机构。
②：当检查仪安装在再流焊之后时用此移动机构。
①、②不同时使用。

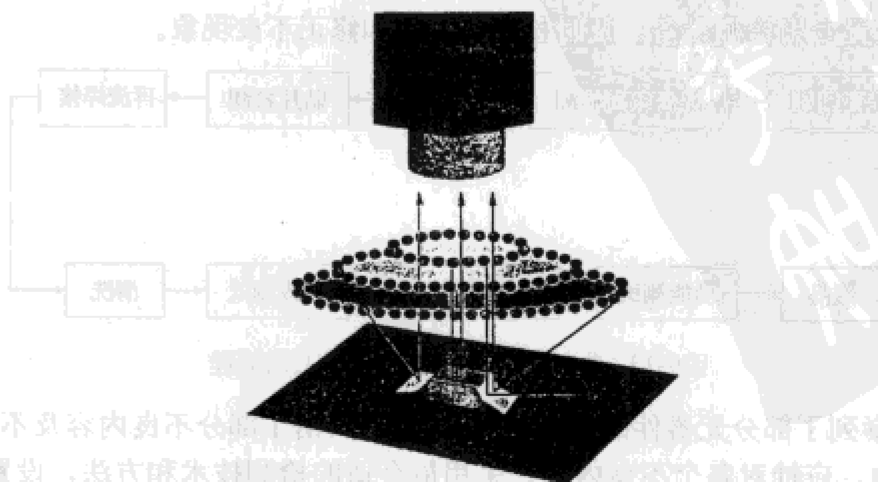


图9-12 图像比较测试光照原理

发出的光角度不同，就分别在摄像时得到垂直光源、水平光源、偏差光源反射的影响，综合二到三个图像就形成一个假三维图像。表9-5列出了这种检测方法可检测的部分项目和内容。

**表9-5　图像比较检测方法检测项目和内容**

| | 无元件 | 未对准 | 极性相反 | 焊锡缺少 | 焊锡过剩 | 连焊 | 曼哈顿现象 | 元件翻转 | 引脚浮翘 | 破裂 | 错贴元件 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 矩形电阴、电容 | ● | ● | ▒ | ● | ● | ▒ | ● | ● | ▒ | ● | ▒ |
| 晶体管 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ▒ |
| 钽电容/二级管 | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ● | ● | ▒ | ▒ | ▒ |
| MELF | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ● | ● | ▒ | ▒ | ▒ |
| 排阻 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ● | ▒ |
| 电解电容 | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ● | ● | ● | ▒ | ▒ |
| 转换器 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ▒ |
| SOP | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ● |
| QFP | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ● |
| J型引脚IC | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ▒ | ▒ | ● |

●表示可检测；　▒表示对检测无固定标准。

# 9.4　组装工艺过程检测与组件测试技术

## 9.4.1　组装工艺过程检测

### 1. 检测对象与项目

图9-13是具有代表性的包含组装过程检测环节的PCB表面组装工艺流程。作为品质管理的目标是不要把生产线上出现不良的电路板放至后工序，而是在各个制造工位后设置专用检测设备，及时检测、发现和修正不良现象。

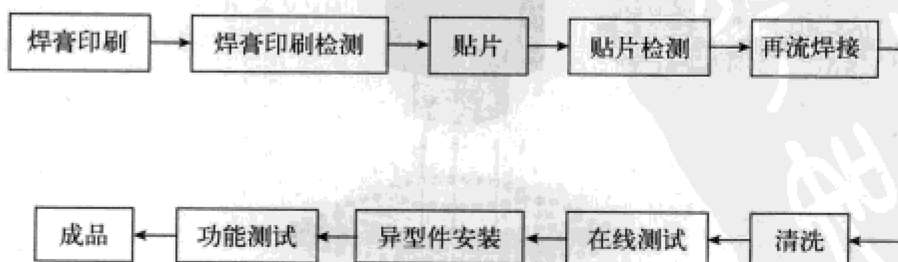



图9-13　典型的表面组装与检测工艺流程

表9-6举列了部分元器件的检测项目，表9-7列出了部分不良内容及不良原因。实际应用中，应针对各个不良内容，采用最合适的检测技术和方法，设置最合适的检查装置进行检测。

表9-6 检测对象与检测项目

| 测试元器件种类 | 贴装不良项目 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 漏装 | 错位 | 旋转 | 极性 |
| 1005芯片 | ○ | △ | △ | — |
| 1608-3216 | ○ | ○ | △ | — |
| 三极管 | ○ | ○ | △ | × |
| 二极管 | ○ | ○ | △ | × |
| 钽电容 | ○ | ○ | △ | × |
| 线圈芯片 | ○ | ○ | △ | — |
| 变阻器芯片 | ○ | ○ | △ | × |
| 铝电解电容 | ○ | ○ | △ | × |
| SOP-IC | ○ | ○ | ○ | × |
| QFP-IC | ○ | ○ | △ | × |
| SOJ-IC | ○ | ○ | ○ | × |
| PLCC-IC | ○ | ○ | △ | × |

○表示可判别；　△表示有条件可判别；　×表示不可判别；　—表示无该测试项。

表9-7 高密度贴装PCB的不良内容

| 制造工艺 | 主要原因 | 最终不良结果 |
|---|---|---|
| 焊锡印刷 | •未涂敷<br>•涂敷不匀 | •元器件漏装<br>•器件直立<br>•虚焊<br>•未挂焊锡<br>•焊锡粘连 |
| 元器件贴装 | •未贴装<br>•贴装精度<br>•贴装范围 | •元器件漏装<br>•元器件错装<br>•元器件错位<br>•虚焊 |
| 再流焊接 | •热不均匀 | •未挂焊锡<br>•变形<br>•器件直立<br>•虚焊<br>•劣化 |

### 2. 焊膏印刷质量检测

实践证明，采用再流焊接技术进行焊接时，焊接不良现象中的70%~80%是由于焊膏印刷工序中出现的问题引起的。这些问题包含焊膏质量不良、印刷网板制造工艺未达到要求、印刷工艺参数设定不妥、工艺环境条件不符合要求等，由此将带来各种焊膏印刷缺陷和焊接缺陷。

如图9-14所示为印刷网板开孔尺寸不当引起的焊膏印刷量过多或过少现象。图9-15为印刷污染引起的印刷后焊膏外形不清晰现象。图9-16为部分焊膏印刷质量问题带来的焊接缺陷。

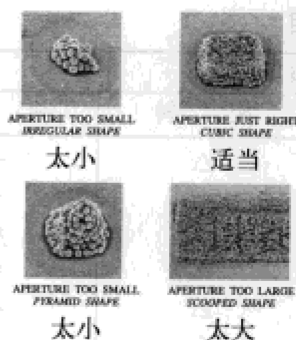


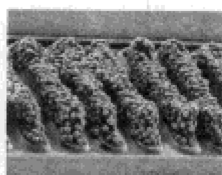

图9-14　网板开孔尺寸与印刷效果

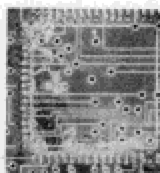
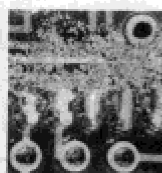






图9-15　印刷污染与印刷效果


锡量过多桥接



污化


焊球

缺锡

图9-16　焊膏印刷工艺引起的焊接缺陷

焊膏印刷后若能立即检测出印刷不良现象，并排除焊膏过多、焊膏不足、塌边等故障因素，将非常有利于焊接质量的改善与提高。为此，焊膏印刷后设置检测工序进行是非常必要和重要的。焊膏印刷质量检测可借助光学检测设备进行目测，也可采用专用检测设备。组装质量要求较高的SMT生产线上，常配置焊膏印刷自动检查机检测焊膏印刷质量。

（1）焊膏印刷自动检查机基本构成

焊膏印刷检查机的基本构成如图9-17所示。主要组成部分为摄像机与光纤维$x-y$工作台系统。在$x-y$桌面安装摄像机，环状光纤维在$x-y$方向移动，采集PCB整体的图像来进行检查。基本工作原理图如图9-18所示，有下列特点。

① 摄像头的视野为6mm~25mm（由线路板的大小尺寸来设定）。

② 使用一种特殊镜头，使PCB高度发生变化后焦距偏差及放大倍数偏差最小。

③ 光源是环状光纤维闪光放电管。

（2）检出原理

焊膏印刷过程中，在模板与印刷电路紧贴的状态下，由刮板的移动，焊膏进入模板中，这时的焊膏几乎与模板的厚度相同，是平坦的，PCB离开模板时焊膏的边缘形状发生变化。

焊膏自动检查机利用环状光纤维与环状反射板将倾斜的光照射到焊膏上，摄像头从环状光纤维的正方摄像，测出焊膏的边缘部分算出焊膏的高度。这是一种把形状转化为光的变化进行判定的检测方法。在正常印刷的场合，边缘部分多少会产生一些隆起，这个部分有对从斜面投射过来的光发生强烈的反射的特点。该

检测方法利用焊膏边缘部分反射回来的的光线宽度，进行焊膏桥接与焊膏环状等现象判定，由斜面照射回来的印制电路板面的光将呈现暗淡的画像。

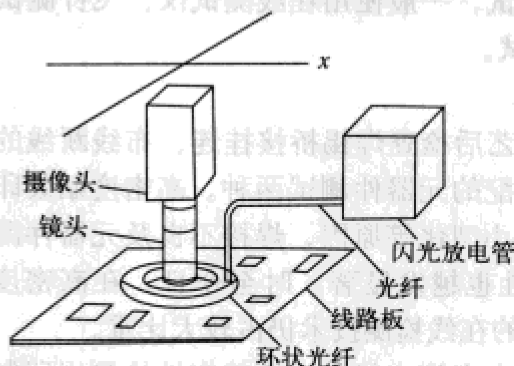


图9-17　焊膏印刷检查机基本构成

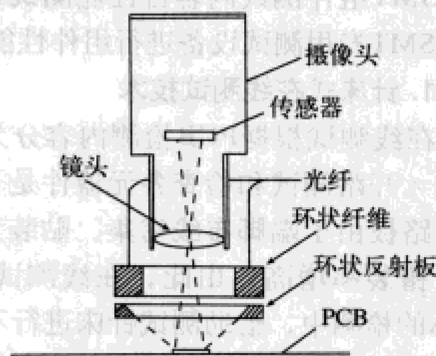


图9-18　焊膏印刷检查机的检出原理

### 3. 贴片质量检测

元器件贴装后的贴片质量检测工序主要是进行贴装元器件的外观检查。外观检查可以检测出焊膏印刷或者点胶后放置在印制电路板上的片式元器件及各种电子元器件的漏装或位置偏移。外观检查可采用人工目测或外观自动检查装置进行，检测工序应设在贴片后、焊接前。

实践证明：采用外观自动检查装置与采用人工目测方法相比，可以大幅度提高产品质量和生产效率。表9-8和图9-19中分别列出了所举例子的检测效果变化情况和贴片不良率的推移情况。这里假设工作条件为：工作时间为480分/日，工作天数为22日/月，工作效率为100%。

表9-8　外观自动检查装置与目测检查的比较

| 现状比较 | 检查时间（秒/枚） | 处理枚数（枚/日） | 处理枚数（枚/日） | 贴装工程不良率 |
|---|---|---|---|---|
| 目视 | 60 | 480 | 10.560 | 11.7% |
| 贴装检查机 | 20 | 1.454 | 31.988 | 2.1% |
| 效果 | 少40秒 | 增974枚 | 月产增3倍 | 6个月后降至原来的1/5 |

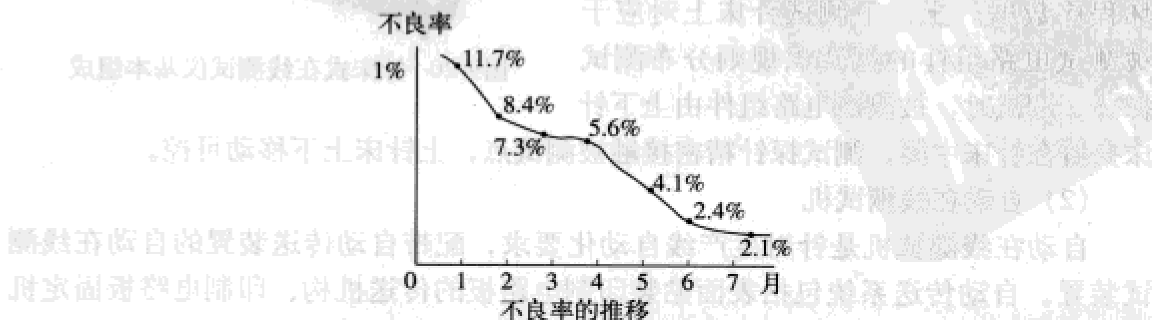


图9-19　不良率的推移

## 9.4.2 组件在线测试技术

SMT组件测试内容含性能测试和功能测试，一般使用在线测试仪、飞针测试仪等SMT专用测试设备进行组件性能在线测试。

**1. 针床式在线测试技术**

在线测试根据PCB检测内容分为焊接工艺后检查焊锡桥接挂连、布线断线的短路／开路测试和检查各元器件是否正确装配的元器件测试两种。高密度贴装印制电路板由于端脚布线密集、贴装元器件超小型化等原因，焊接不良及元器件漏装、错装率增高。由此，在线测试的重要性也越发显著。时至今日，在高密度SMA的检测中，借助测试针床进行不良检出的在线检测技术仍占较大比重。

针床式在线测试仪可在印制电路板装配生产流水线上高速静态地检测出印制电路板上元器件的装配故障和焊接故障，还可在单板调试前通过对已焊装好的实装板上的元器件用数百毫伏电压和10mA以内电流进行分立隔离测试，从而精确地测出所装电阻、电感、电容、二极管、三极管、可控硅、场效应管、集成块等通用和特殊元器件的漏装、错装、参数值偏差、焊点连焊、印制电路板开短路等故障，并可准确确定故障是哪个元件或开短路位于哪个点。

(1) 针床式在线测试仪

图9-20所示为一种用于双面测试的针床式在线测试仪，它由系统控制、测量电路、测量驱动及上与下测试针床（夹具）等部分构成。控制系统含有标准配置的个人计算机，综合控制软件采用MS-DOS操作系统。系统软件采用模块化结构，具有对应测试程序生成高级编辑功能等功能模块。这些模块可由窗口式弹出菜单或直接调出使用，其口令方式可以按操作者模式区分，以防止使用者破坏程序数据。上、下测试针床上对应于被测试电路组件的测试点规则分布测试探针，测试时，被测试电路组件由上下针床夹持在针床中间，测试探针精密接触被测试点，上针床上下移动可控。



图9-20 针床式在线测试仪基本组成

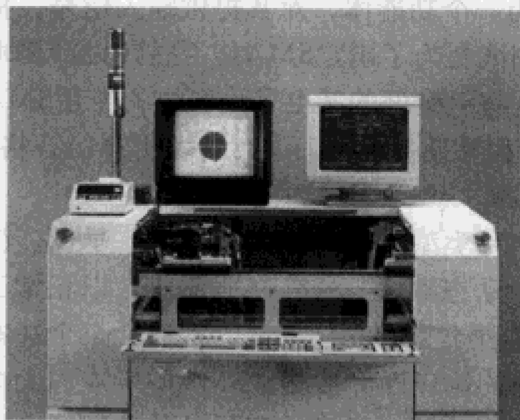
(2) 自动在线测试机

自动在线测试机是针对生产线自动化要求，配带自动传送装置的自动在线测试装置。自动传送系统包括表面贴装印制电路板的传送机构、印制电路板固定机构及两面高精度针床机构，还有便于更换针床的针床转接单元。

传送测定部是装配印制电路板的高速传送与定位的机构。它一般采用平行皮带将印制电路板送到电路板检出传感器处停下，采用气缸机构中的定位销将其定位。然后采用压力气缸将上针床降下，将印制电路板压紧，同时针床上的探针与印制电路板上的布线电路或测试点相接。压板再降，使下面针床的探针与印制电路板的下面测试点也相接。

**2. 飞针式在线测试技术**

对于不能使用针床测试的印制电路板，可以使用飞针方式的线测试仪。典型的飞针方式在线测试仪，在$x$-$y$机构上装有可分别高速移动的4个头共8根测试探针，最小测试间隙可达0.2mm。图9-21所示为飞针式在线测试仪及其飞针在测状态示意。测试作业时，根据预先编排的坐标位置程序，移动测试探针到测试点处与之接触，各测试探针根据测试程序对装配的元器件进行开路/短路或元件测试。



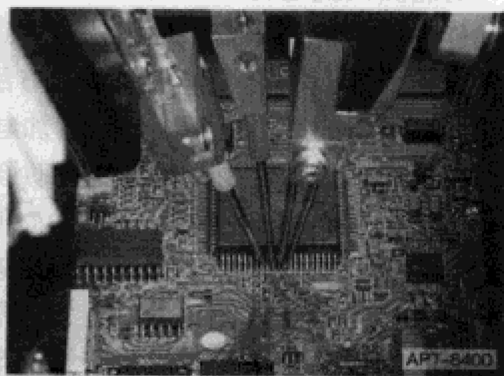



图9-21　飞针式在线测试仪及其飞针在测状态

为了既实现快速走针又避免针插印痕对PCB的影响，应合理分布走针行程与走针速度，在元器件高低大致相同的情况下合理设定针的等待位置，可相对提高测定周期。采用缓着陆法可克服行程快速和接触PCB时需限速的矛盾。

飞针式测试仪上安装的多根针，每根针都安装在适当的角度上，不会发生因为贴装元器件而产生测试死角现象，能进行全方位角测试。以往的针床式测试仪难以对应的高密度QFP管角及如1005片式元器件的小焊盘，用飞针式测试仪都非常容易解决。因此，采用飞针式测试仪能大幅度地提高不良检出率。

表9-9以高密度PCB为对象，将飞针式和针床式在线测试仪的特性进行了比较。

**表9-9　在线测试仪的比较**

| 比较项目 | 飞针方式 | 针床方式 |
|---|---|---|
| 探针最小间距 | 0.2mm | 1.27mm |
| 探针精度 | 0.15mm | 0.2mm |
| 印制电路板坐标修正 | 可 | 不可 |

(续)

| 比较项目 | 飞针方式 | 针床方式 |
|---|---|---|
| 接触不良的回避 | 数字功能 | 重测功能 |
| 测试时间 | 100ms/步~200ms/步 | 1ms/步~20ms/步 |
| 探针压力 | 约150g | 约150g |
| 探接冲击 | 基本无 | 基本无 |
| CAD对应 | 容易 | 稍难 |
| 编程费用 | 廉价 | 高价 |
| 编程时间 | 短期 | 稍长 |

### 9.4.3 组件功能测试技术

功能测试就是将SMA上的被测单元作为一个功能体，对其提供输入信号，按照功能体的设计要求检测输出信号。这种测试是为了确定SMA能否按照设计要求正常工作。所以功能测试最简单的方法，是将组装好的某电子设备上的专用SMA连接到该设备的适当电路上，然后加电压，如果设备正常工作，就表明SMA合格。这种方法简单、投资少，但不能自动诊断故障。

通常把功能测试分成静态和动态测试两种类型。静态测试成本低，早已广泛采用。它在固定的状态下测试SMA的功能。动态测试要给SMA加激励，以正常工作的时钟频率操作，测试其功能。不管是哪种类型的功能测试，都包括三个基本单元：加激励、收集响应以及根据标准组件的响应评价被测试SMA的响应。大多数功能测试仪都有诊断程序，用来鉴别和确定故障。通常采用的功能测试技术除人工分析外还有以下几种测试分析方法。

**1. 双测试夹具或单测试夹具测试**

采用双测试夹具进行功能测试时，将标准SMA和被测试SMA分别夹在一个测试夹具上，并同时对两块板加相同激励（通常叫伪激励），然后比较它们的响应。如果发现故障，再用手持探针，对被测SMA上的故障结点和测试标准板上的相应结点的响应进行比较，以便确定故障范围和类型。其原理如图9-22所示。

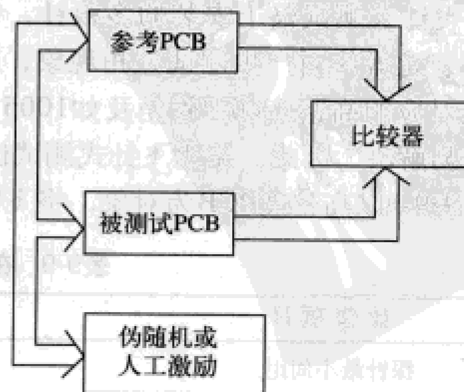



图9-22 双测试夹具功能测试

采用单个测试夹具的功能测试方法是，用单个测试夹具先夹在标准SMA上进行测试操作，将响应存贮在存贮器中，然后再用同一夹具夹在被测试的SMA上进行相应的测试操作。比较它们的响应，如发现故障，用手持探针进行测试操作。

其原理如图9-23所示。用这种方法进行功能测试，由于测试时标准板和被测试SMA之间存在一定的定时差别，会使检测出的故障不精确。另外，前一种方法采用伪随机激励，由于其固有的缺点，不适用于微处理器等时序器件的测试。

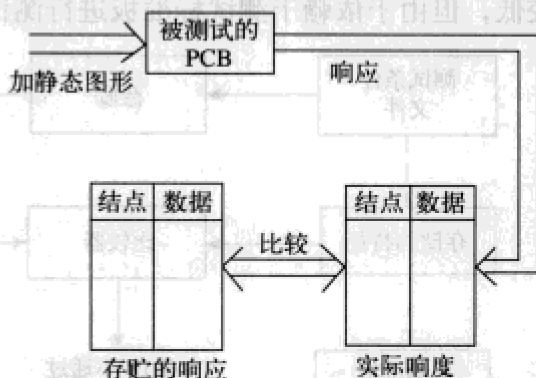


图9-23 单测试夹具功能测试

双测试夹具或单测试夹具测试方法属静态测试，测试成本较低。

**2. 模拟测试**

模拟测试方法采用故障模拟进行激励，其模拟器能对所推荐的激励图形计算其故障范围，从而有助于开发最佳激励。该方法应具有很强的软件功能，它根据被测SMA上的元器件布局和SMA上的元器件真值表数据库，利用计算机产生的被测SMA的模型，预测所选择的输入图形的正确响应，通过计算SMA上每个结点的逻辑状态，进行评价，发现故障。采用模拟器的功能测试技术如图9-24所示。这种测试仪多数采用静态测试技术，也有少数采用动态测试的系统，是最精确的功能测试方法，但是价格昂贵。因为它需要后备SMA和高速驱动器，以便以高速时钟频率加激励。由于并非所有器件都能模拟，所以该方法的应用受到限制。

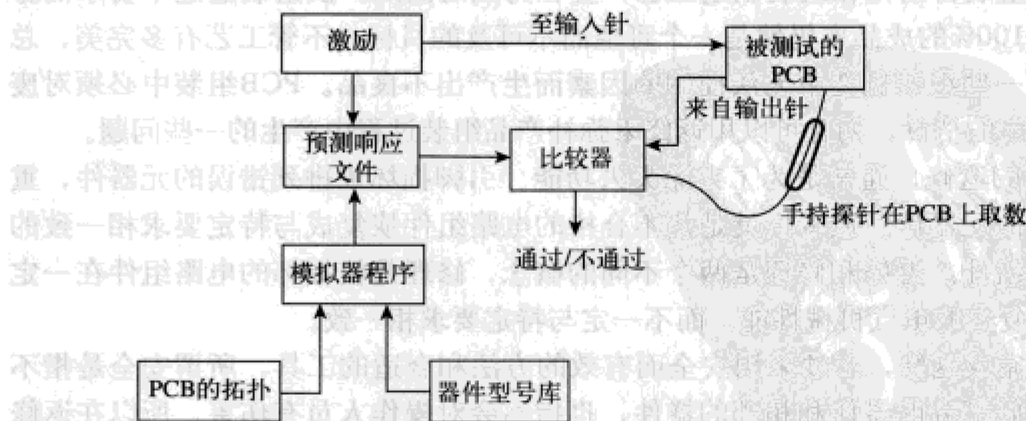


图9-24 采用模拟器的功能测试技术示意图

**3. 特征分析（SA）测试技术**

特征分析测试技术是一种动态数字测试技术，它采用针床夹具对被测SMA上的给定结点取数，通过检验器件输入端和输出端的特性，检查给定器件的工作是否正确。这类似于在模拟电路上用示波器观察波形的方式，采用返回跟踪进行故障检测。测试时，测试系统多路转换到被测试的每个结点上，与测试标准板的相应结点进行比较，检测SMA的某些特征。特性分析仪与SMA时钟同步，进行动态

测试。其原理如图9-25所示。这种动态测试技术与模拟测试技术相比，测试成本较低，但由于依赖于测试标准板进行测试，所以不能精确分析故障特性。

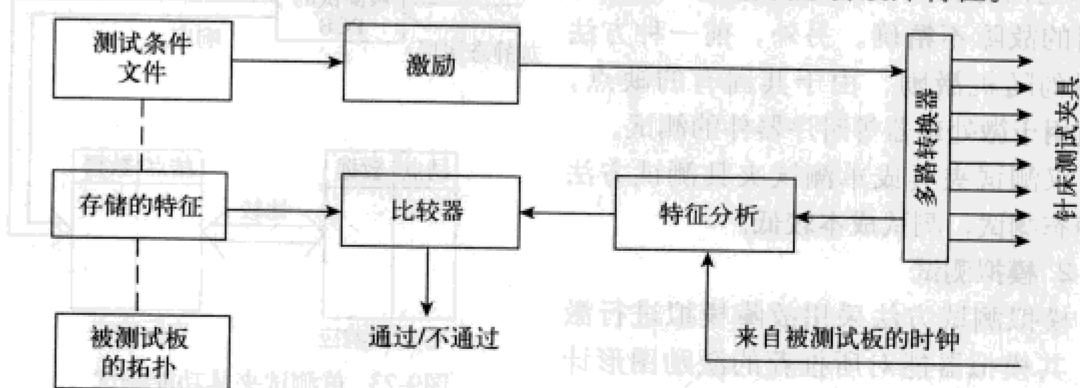



图9-25 采用特性分析仪的SMA测试系统方框图

## 9.5 SMT组件的返修技术

### 9.5.1 返修的基本方法

#### 1. 返修的基本概念

表面组装自动化和组装制造工艺一直在为满足高的一次组装通过率要求而努力，但是100%的成品率仍然是一个可望而不可及的目标，不管工艺有多完美，总是存在着一些组装制造中无法控制的因素而生产出不良品。PCB组装中必须对废品率有一定的估计，而且可以用返修来弥补产品组装过程中产生的一些问题。

SMA的返修，通常是为了去除失去功能、引脚损坏或排列错误的元器件，重新更换新的元器件。或者说就是使不合格的电路组件恢复成与特定要求相一致的合格电路组件。返修和修理是两个不同的概念，修理是使损坏的电路组件在一定程度上恢复它的电气机械性能，而不一定与特定要求相一致。

为了完成返修，必须采用安全而有效的方法和合适的工具，所谓安全是指不会损坏返修部分的器件和相邻的器件，也指不会对操作人员有伤害。所以在返修操作之前必须对操作人员进行技术和安全方面的培训。习惯上返修被看作是操作者掌握的手工工艺，实际上，高度熟练的维修人员也必须借助返修工具才可以使修复的SMA产品完全令人满意。然而为了满足电子设备更小、更轻和更便宜的要求,电子产品越来越多地采用精密组装微型元器件,如倒装芯片、CSP、BGA等。新型封装器件对装配工艺提出了更高的要求，对返修工艺的要求也在提高，此时手工返修已无法满足这种新要求。此时，应更加注意采用正确的返修技术、方法和返修工具。

**2. 返修基本过程**

（1）取下元器件。成功的返修首先是将故障位置上的元器件取走。将焊点加热至熔点，然后小心地将元器件从PCB上拿下。加热控制是返修的一个关键因素，焊料必须完全熔化，以免在取走元器件时损伤焊盘。与此同时，还要防止PCB加热过度，不应因加热造成PCB扭曲。

（2）PCB和元器件加热。先进的返修系统采用计算机控制加热过程，使之与焊膏制造厂商给出的规格参数尽量接近，并且应采用顶部和底部组合加热方式（如图9-26所示）。底部加热用以升高PCB的温度，而顶部加热则用来加热元器件，元件器加热时有部分热量会从返修位置传导流走。而底部加热则可以补偿这部分热量而减少元器件在上部所需的总热量，另外，使用大面积底部加热器可以消除因局部加热过度而引起的PCB扭曲。

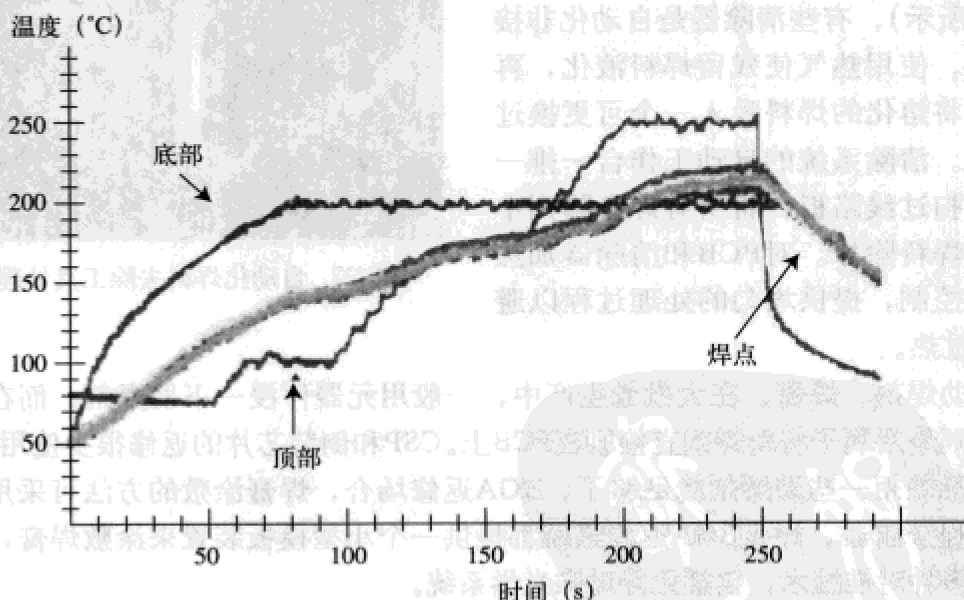



图9-26 在PCB顶部和底部测得的温度曲线及焊点实际温度

（3）加热曲线。加热曲线应精心设置，先预热，然后使焊点回焊。好的加热曲线能提供足够但不过量的预热时间，以激活助焊剂，时间太短或温度太低则不能做到这一点。正确的再流焊接温度和高于此温度的停留时间非常重要，温度太低或时间太短会造成润浸不够或焊点开路。温度太高或时间太长会产生短路或形成金属互化物。设计最佳加热曲线最常用的方法是将一根热电偶放在返修位置焊点处，先推测设定一个最佳温度值、温升率和加热时间，然后开始试验，并把测得的数据记录下来，将结果与所希望的曲线相比较，根据比较情况进行调整。这种试验和调整过程可以重复多次，直至获得理想的效果。

（4）取元器件。一旦加热曲线设定好，就可准备取走元器件，返修系统应保

证这部分工艺尽可能简单并具有重复性。加热喷嘴对准元器件以后即可进行加热，一般先从底部开始，然后将喷嘴和元器件吸管分别降到PCB和元器件上方，开始顶部加热。加热结束时许多返修工具的元器件吸管中会产生真空，吸管升起将元器件从PCB上提起。在焊料完全熔化以前吸起元器件会损伤PCB上的焊盘，"零作用力吸起"技术能保证在焊料液化前不会取走元器件。

（5）预处理。在将新元器件换到返修位置前，该位置需要先做预处理。预处理包括两个步骤：除去残留的焊料和添加助焊剂或焊膏。

①除去焊料。除去残留焊料可用手工或自动方法，手工方式的工具包括烙铁和铜吸锡线，不过手工工具用起来很困难，对于小尺寸CSP和倒装芯片焊盘还很容易受到损伤。自动化焊料去除工具可以非常安全地用于高精度板的处理（如图9-27所示），有些清除器是自动化非接触系统，使用热气使残留焊料液化，再用真空将熔化的焊料吸入一个可更换过滤器中。清除系统的自动工作台一排一排依次扫过线路板，将所有焊盘阵列中的残留焊料除掉。对PCB和清除器加热要进行控制，提供均匀的处理过程以避免PCB过热。

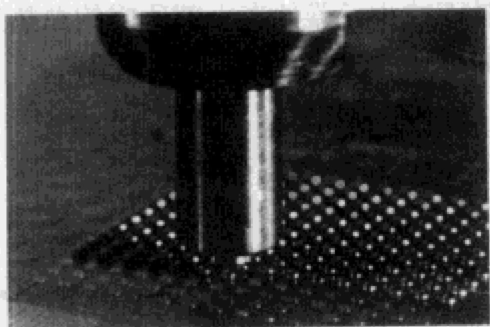


图9-27　自动化焊料去除工具处理

②助焊剂、焊膏。在大批量生产中，一般用元器件浸一下助焊剂，而在返修工艺中则是用刷子将助焊剂直接刷在PCB上。CSP和倒装芯片的返修很少使用焊膏，只要稍稍使用一些助焊剂就足够了。BGA返修场合，焊膏涂敷的方法可采用模板或可编程分配器。许多BGA返修系统都提供一个小型模板装置来涂敷焊膏，该方法可用多种对准技术，包括元件对准光学系统。

在PCB上使用模板是非常困难的，并且不太可靠。为了在相邻的元器件中间放入模板，模板尺寸必须很小，除了用于涂敷焊膏的小孔就几乎没有空间了，由于空间小，因此很难涂敷焊膏并取得均匀的效果。设备制造商们建议多对焊盘进行检查，并根据需要重复这一过程。有一种工艺可以替代模板涂敷焊膏，即用元器件印刷台直接将焊膏涂在元器件上，这样不会受到旁边相邻元器件的影响，该装置还可在涂敷焊膏后用作元器件容器，在标准工序中自动拾取元器件。焊膏也可以直接点到每个焊盘上，方法是使用PCB高度自动检测技术和一个旋转焊膏挤压泵，精确地提供完全一致的焊膏点。

（6）元器件更换。取走元器件并对PCB进行预处理后，就可以将新的元器件装到PCB上去了。制定的加热曲线应仔细考虑以避免PCB扭曲并获得理想再流焊接效果，利用自动温度曲线制定软件进行温度设置可作为一种首选的技术。

(7) 元器件对位。新元器件和PCB必须正确对准，对于小尺寸焊盘和细间距CSP及倒装芯片器件而言，返修系统的放置能力必须要能满足很高的要求。放置能力由两个因素决定：精度（偏差）和准确度（重复性）。一个系统可能重复性很好，但精度不够，只有充分理解这两个因素才能了解系统的工作原理。重复性是指在同一位置放置元件的一致性，然而一致性很好不一定表示放在所需的位置上；偏差是放置位置测得的平均偏移值，一个高精度的系统只有很小或者根本没有放置偏差，但这并不意味放置的重复性很好。返修系统必须同时具有很好的重复性和很高的精度，以将器件放置到正确的位置。对放置能力进行试验时必须重视实际的返修过程，包括从元器件容器或托盘中拾取、对准以及放置元器件。

(8) 元器件放置。返修工艺选定后，PCB放在工作台上，元器件放在容器中，然后用PCB定位以使焊盘对准元器件上的引脚或焊球。对位完成后元器件自动放到PCB上，放置能力反馈和可编程力量控制技术可以确保正确放置，不会对精密元器件造成损伤。

(9) 其他工艺注意事项。小质量元器件在对流加热过程中可能会被吹动而不能对准，一些返修系统用吸管将元器件按在位置上防止它移动，这种方法在定位元器件时需要有一定的热膨胀余量。元器件对准时不能存在表面张力，该方法很容易把BGA类元器件放得太靠近PCB（短路）或者太离开（开路）。防止元器件在再流焊接时移动的一个好方法是减小对流加热的气流量，一些返修系统可以编程设置流量，按工艺流程要求降低气流量。最后喷嘴自动降低开始进行加热。自动加热曲线保证了最佳加热工艺，系统放置能力则确保元件对位准确。放置能力和自动化工艺结合在一起可以提供一个完整且一致性好的返修工艺。

### 9.5.2 返修加热方法及其返修工具

可以用三种方法对PCB加热，即热传导加热、热空气对流加热和辐射加热。传导加热时热源与PCB相接触，这对背面有元器件的PCB不适用；辐射法使用红外（IR）能，比较实用，但由于PCB上各种材料和元器件对红外线吸收不均匀，故而也影响质量；对流加热被证明是返修和装配中最有效和最实用的技术。

**1. 热空气对流加热返修**

热空气对流加热方法是将热空气施加到SMA上要返修的器件引脚焊缝处，使焊料熔化。常用两种类型的对流加热返修工具：手持便携式和固定组件式。

(1) 手持便携式热空气返修工具。手持便携式热空气返修工具重量轻，使用方便。采用这种返修工具时，要为不同类型的SMD设计特殊的热空气喷嘴。操作时要精确地控制加热的空气流，使之喷流到与被返修的器件引脚相对应的焊盘的位置上，而又不会使相邻器件焊缝上的焊料熔化。焊缝上的焊料熔化后，即刻用镊子夹取器件或用热空气工具将器件引脚推离焊盘，完成拆焊操作。更换新器件

可用镊子进行取放操作，用普通烙铁进行焊接操作或用手持式热空气返修工具进行再流焊接操作。

（2）固定组件式热空气返修系统。固定组件热空气返修系统有通用型和专用型（如图9-28和图9-29所示），通用型用于常规元器件的返修，专业型用于BGA类焊点不可见的元器件的返修。通用型工作原理与手持式热空气返修工具相同，对应于不同的SMD有不同的特殊的热空气喷嘴。但是，它能半自动地用热空气喷嘴加热器件引脚，焊料熔化后能用安装在喷嘴中央并与喷嘴同轴的真空吸嘴拾取拆下的器件。这种固定式返修工具有不同的结构形式，一种结构形式是在PCB下面设置一个用于预热SMA的热空气喷嘴，以减少SMA所受的热冲击，避免返修引起的SMA故障。这种结构使要返修的组件放在两个固定的热空气喷嘴之间。还有一种结构形式是通用喷嘴固定组件式热空气返修工具。它的喷嘴可根据拆焊的元器件类型进行调整。另外，这种喷嘴设置了两种空气通孔，内侧是热空气通孔，外侧是冷空气通孔（小孔），这种喷嘴结构可有效地防止邻近器件引脚焊接部位受热。

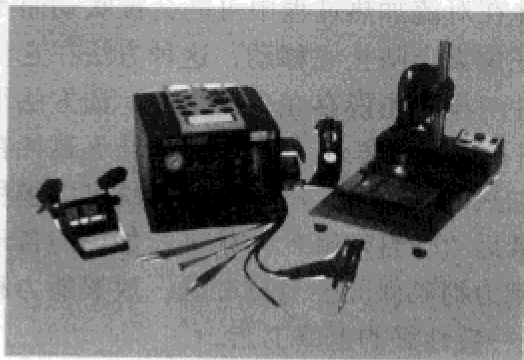


图9-28 组件式通用返修系统

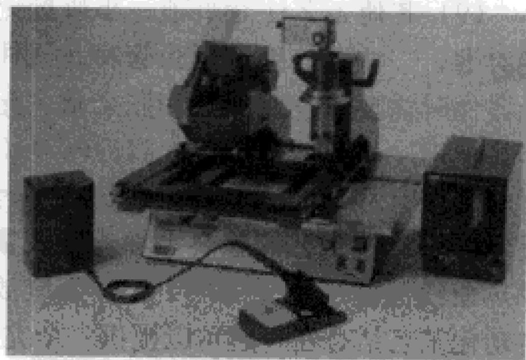


图9-29 BGA/CSP专用返修系统

**2. 传导加热返修**

传导加热返修工具也可以分为手持式和固定组件式两种类型。这种返修工具与热棒再流焊接工具完全相同。但它用的热靴制造精度和拆焊操作要求都很严格，因为拆焊时要求热靴端能与器件的所有引脚焊接部位均匀地同时接触，还要防止和相邻器件引脚接触，所以返修操作必须十分小心。

### 9.5.3 装有BGA器件的SMA返修工艺

BGA器件具有高的I/O数量、易于SMA产品的小型化等优点，应用越来越广泛。但由于其焊点阵列面在器件下面不可见，返修操作比较困难，必须借助专用返修设备和返修工具进行。

装有PBGA器件的SMA返修工艺包含BGA拆除、重新补加焊料球、再流焊接几个主要内容。

### 1. BGA器件拆除

将BGA器件从SMA上拆除可采用专用夹具嵌抱器件后加热至共晶合金焊料融化时取下BGA器件，也可采用喷嘴式热风通用返修工具进行加热。采用专用夹具加热的特点是对器件整体的加热温度均匀，操作时间短，易于控制，不易损坏器件。采用喷嘴式热风加热时，易形成BGA器件局部受热温度过高现象，操作较难，容易损坏器件。为使BGA器件整体均匀受热，加热过程中应控制热风喷嘴在BGA器件上有规律地移动或旋转。

BGA器件从SMA上拆除后，有部分焊料或焊料球将保留在PCB上，部分被BGA器件携带，若是PBGA器件，还会拉成丝状。为此，必须对它们进行清理和焊料球修复或补加。

### 2. 焊料球修复

BGA器件的焊料球修复一般可采用三种方法。一种是预成形法，该方法将已备焊料球嵌入水溶基焊剂中，将BGA面向下通过再流焊接实现，修复成本较高。另一种方法是模仿原始制造技术，即在BT（bismaleimide triazine）玻璃基板上印刷焊膏及将焊料球自动填加到面向下的BGA上的厚模板中，修复成本比预成形法低。但当焊料球过多时，应拆除模板进行再流焊接。第三种方法是焊膏印刷法，成本较低，它使用专用模板在BGA器件上印刷焊膏，用温控热风加热再流，再流过程中模板保留在器件上，能保证焊料球可靠定位，再流焊接后再取下模板。模板一般采用冷轧不锈钢板制成，可重复使用。

### 3. 返修焊接

返修焊接前对PCB焊盘进行清理，重新印刷焊膏，贴上BGA器件后进行再流焊接。

装有CBGA器件的SMA返修比装PBGA器件的SMA返修简单，由于CBGA器件的焊料球是非坍塌高温焊料球，拆卸后可重复利用，但其前提是不损坏。为此，CBGA器件在拆除和清理加热过程中要特别注意温度控制，不能形成高温再流。

器件加热（或称顶部加热）一般采用对流热气喷嘴（如图9-30所示），仔细控制顶部加热使器件均匀受热是极为重要的，特别是对小质量器件尤为关键。还有很重要的一点是要避免返修工位附近的元器件再次回焊，吸嘴喷出的热气流必须与这些元器件隔离，可以在返修工位周围的元器件上放一层薄的遮板或者掩膜。掩膜技术相当有效，不过比较麻烦费时。

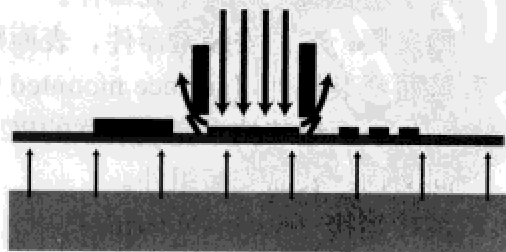


图9-30 采用对流热气喷嘴的顶部加热

# 附　录

## 附录1　表面组装技术术语SJ/T 10668—1995

1. C形四边封装器件（C-hip quad pack, C-hip carrier）
   不以固定的封装体引脚间距尺寸为基础，而以规定封装体大小为基础制成的四边带J形或I形短引脚的高度气密封装的陶瓷芯片载体。
2. I形引脚（I-lead）
   从表面组装元器件封装体向外伸出并向下弯曲90°，形似英文字母“I”的平接头引脚。
3. J形引脚（J-lead）
   从表面组装元器件封装体向外伸出并向下伸展，然后向内弯曲，形似英文字母“J”的引脚。
4. 表面组装焊点（surface mounted solder joints）
   组装板上表面组装元器件焊端或引脚与PCB焊盘之间实现软钎焊接所形成的连接区域。简称焊点。
5. 表面组装技术（surface mount technology, SMT）
   无需对PCB钻插装孔，直接将表面组装元器件贴、焊到PCB表面规定位置上的装联技术。
   同义词：表面安装技术，表面贴装技术。
6. 表面组装元器件（surface mounted component/surface mounted device, SMC/SMD）
   外形为矩形片状、圆柱形或异形，其焊端或引脚制作在同一平面内，并适用于表面组装的电子元器件。
   同义词：表面安装元器件，表面贴装元器件。
7. 表面组装组件（surface mounted assembly, SMA）
   采用表面组装技术完成装联的PCB组装件。简称组装板或组件板。
   同义词：表面安装组件。
8. 波峰焊接（wave soldering）
   将熔化的软钎焊料，经电动泵或电磁泵喷流成设计要求的焊料波峰，使预先装有电子元器件的PCB通过焊料波峰，实现元器件焊端或引脚与PCB焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。

9. 带式供料器（tape feeder）

适用于编带包装元器件的供料器。它将表面组装元器件进行编带后成卷地进行定点供料。

同义词：整卷盘式供料器tape reel feeder

10. 带状封装（tapepak packages）

为保护引脚的共面性，将数目较多的引脚与器件壳体一起模塑封装到塑料载带框架上的一种表面组装集成电路封装形式。

11. 低温焊膏（low temperature paste）

熔化温度比锡铅共晶焊膏（熔点为183°C）低几十度的焊膏。

12. 滴涂（diapensing）

表面组装时，往PCB上施加焊膏或贴装胶的工艺过程。

13. 吊桥（drawbridge）

两个焊端的表面组装元器件在贴装或再流焊接（特别是气相再流焊接）过程中出现的一种特殊偏移现象，其一端离开焊盘表面，整个元件呈斜立或直立，状如石碑。

同义词：曼哈顿现象（Manhttan effect）

14. 定心台（centering unit）

为简化贴装头的结构，将定心机构设置在贴装机机架上，用来完成表面组装元器件定中心功能的装置。

15. 定心爪（centering jaw）

贴装头上与吸嘴同轴配备的镊钳式机构，用来拾取元器件后对其从四周抓合定中心，大多能够进行旋转方向的校正。

16. 飞片（flying）

贴装头在拾取或贴放表面元器件时，使元器件“飞”出的现象。

17. 分辨率（resolution）

贴装机驱动机构平稳移动的最小增量。

18. 杆式供料器（stick feeder）

适用于杆式包装元器件的供料器。它靠元器件自重和振动进行定点供料。

同义词：管式供料器

19. 工艺焊盘（dummy land）

为减小表面组装元器件贴装后的架空高度，设置在PCB涂胶位置上的有阻焊膜的空焊盘。

20. 供料器（feeder）

向贴装机供给表面组装元器件并兼有贮料、供料功能的部件。

21. 供料器架（feeder holedr）

贴装机中安装和调整供料器的部件。

22. 刮板（spueegee）

由橡胶或金属材料制作的叶片和夹持部件构成的印料刮压构件，用它将印料印刷到承印物上。

23. 挂珠（stringing）

注射式滴涂焊膏或贴装胶时，因注射嘴（针头）与焊盘表面分离欠佳而在嘴上粘连有少部分焊膏或贴装胶，并带至下一个被滴涂焊盘上的现象。

24. 光束现流焊接（beam reflow soldering）

采用聚焦的可见光辐射进行加热的再流焊接，是局部软钎焊接方法之一。

25. 焊后清洗（cleaning after soldering）

PCB完成焊接后，用溶剂、水或蒸气进行清洗，以去除焊剂残留物和其他污染物的工艺过程。简称清洗。

26. 焊剂气泡（flux bubbles）

焊接加热时，PCB与表面组装元器件之间因焊剂汽化所产生的气体得不到及时的排出，而在熔融焊料中产生的气泡。

27. 焊料球（solder balls）

是焊接缺陷之一。它是散布在焊点附近的微小球状焊料。

28. 焊料遮蔽（solder shadowing）

采用波峰焊接时，某些元器件受本身或前方较大体积元器件阻碍，得不到焊料或焊料不能润湿其某一侧甚至会全部焊端或引脚，导致漏焊现象。

29. 焊群（mass soldering）

对PCB上所有的待焊点同时加热进行软钎焊接的方法。

30. 红外再流焊接（IR reflow sodering, infrared reflow soldering）

利用红外辐射热进行加热的再流焊接，简称红外焊。

31. 红外再流焊现机（IR reflow soldering system）

可实现红外再流焊接功能的焊接设备。

同义词：红外炉（IR oven）

32. 红外遮蔽（IR shadowing）

红外再流焊接时，表面组装元器件，特别具有J型引脚的表面组装元器件的壳体遮挡其下面的待焊点，影响其吸收红外辐射热量的现象。

33. 激光再流焊接（laser reflow soldering）

采用激光辐射能量进行加热的再流焊接。是局部软钎焊接方法之一。

34. 金属漏版（metal stencil；stencil）

用铜或不锈钢薄板经照相蚀刻法、激光加工、电铸等方法制成的漏版印刷用模版，也包括柔性金属版。简称漏版或模板。

35. 局部基准标志（local fiducial mark）
    印制板针对个别或多个细间距、多引线、大尺寸表面组装器件的精确贴装，设置在其相应焊盘区域角部供光学定位校准用的特定几何图形。
36. 局部软钎焊接（located soldering）
    不是对PCB上全部元器件进行群焊，而是对其上有表面元器件或通孔插装元器件逐个加热，或对某个元器件的全部焊点逐个加热进行软钎焊接的方法。
37. 矩形片状元器件（rectangular chip component）
    两端无引脚，有焊端，外形为薄片矩形的表面组装元件。
38. 聚焦红外再流焊接（focused infrared reflow soldering）
    采用聚焦成束的红外辐射进行加热的再流焊接，是局部软钎焊接方法之一，也是一种特殊式的红外再流焊接。
39. 流水线式贴装（in-line placement）
    多台贴装机同时工作，每台只贴装一种或少数几种表面组装元器件的贴装方式。
40. 免清洗焊膏（no-clean solder paste）
    焊后只含微量焊剂残留物而无需清洗组装板的焊膏。
41. 盘式供料器（tray feeder）
    适用于盘式包装元器件的供料器。它是将引脚较多或封装尺寸较大的表面组装元器件，预先编放在一矩阵格子盘内，由贴装头分别到各器件位置拾取。
    同义词：华夫（盘）式供料器（waffle pack feeder）
42. 偏移（skewing）
    焊膏熔化过程中，由于润湿时间等方面的差异，使同一表面组装元器件所受的表面张力不平衡，其一端向一侧斜移、旋转或向另一端平移的现象。
43. 平移偏差（shifting deviation）
    主要因贴装机的PCB定位系统和贴装头定心机构在*X-Y*方向不精确，以及表面组装元器件、PCB本身尺寸偏差所造成的贴装偏差。
44. 气相再流焊接（vapor phase soldering（VPS））
    利用高沸点工作液体的饱和蒸气的气化潜热，经冷却时的热交换进行加热的再流焊接。简称气相焊。
45. 热板再流焊接（hot plate reflow soldering）
    利用热板的传导进行加热的再流焊。
    同义词：热板传导再流焊接（thermal conductive reflow soldering）
46. 热风再流焊接（hot air reflow soldering）

以强制循环流动的热气流进行加热的再流焊接。

同义词：热对流再流焊接（convection reflow soldering）

47. 热风/红外再流焊接（hot air/IR reflow soldering）

按一定热量比和空间分布，同时采用红外辐射和热风循环对流进行加热的再流焊接。

同义词：热风对流红外辐射再流焊接（convection/IR reflow soldering）

48. 柔性金属漏版（flexible stencil）

通过四周的丝网或具有弹性的其他薄膜物与网框相粘连为一个整体的金属漏版，可在承印物上进行类似于采用网版的非接触印刷。简称柔性漏版。

49. 散装式供料器（bulk feeder）

适用于散装元器件的供料器。一般采用微倾斜直线振动槽，将贮放的尺寸较小的表面组装元器件输送至定点位置。

50. 收缩型小外形封装（shrink small outline package, SSOP）

近似小外形封装，但宽度比小外形封装更窄，可节省组装面积的新型封装。

51. 双波峰焊接（dual wave soldering）

采用两个波峰的波峰焊接。

52. 顺序贴装（simultaneous placement）

按预定贴装顺序逐个拾取、逐个贴放的贴装方式。

53. 丝网印刷（screen printing）

使用网版，将印料印到承印物上的印刷工艺过程。简称丝印。

54. 丝网印刷机（screen printer）

表面组装技术中，用于丝网印刷或漏版印刷的专用工艺设备。简称丝印机。

55. 四边扁平封装器件（quad flat pack, QFP）

四边具有翼形短引脚，引脚间距为1.00mm、0.80mm、0.65mm、0.40mm、0.30mm等的塑料封装薄形表面组装集成电路。

56. 塑料有引脚芯片载体（plastic leaded chip carrier, PLCC）

四边具有J形短引脚，典型引脚间距为1.27mm，采用塑料封装的芯片载体，外形有正方形和矩形两种形式。

57. 塌落（slump）

一定体积的焊膏印刷或滴涂在焊盘上后,由于重力和表面张力的作用及温度升高或停放时间过长等原因而引起的高度降低、底面积超出规定边界的坍流现象。

58. 贴装（pick and place）

将表面组装元器件从供料器中拾取并贴放到PCB表面规定位置上的手动、半自动或自动的操作。

59. 贴装方位（placement direction）

贴装机贴装头主轴的旋转角度。

60. 贴装胶（adhesives）

固化前具有足够的初黏度，固化后具有足够的黏结强度的液体化学制剂。在表面组装技术中指的是在波峰焊接前用于暂时固定表面组装元器件的胶粘剂。

61. 贴装精度（placement accuracy）

贴装机贴装表面元器件时，元器件焊端或引脚偏离目标位置的最大偏差，包括平移偏差和旋转偏差。

62. 贴装速度（placement speed）

贴装机在最佳条件下（一般选拾取与贴装距离为40mm）每小时贴装的表面元器件（其尺寸编码一般为3216或2012）的数目。

63. 贴装头（placement head）

贴装机的关键部件，是贴装表面组装元器件的执行机构。

64. 贴装机（placement epuipment, pick-plce epuipment, chip mounter, mounter）

完成表面组装元器件贴装的专用工艺设备。

同义词：贴片机。

65. 贴装压力（placement pressure）

贴装头吸嘴在贴放表面元器件时，施加于元器件上的力。

66. 同时贴装（simultaneous placement）

两个以上贴装头同时拾取与贴放多个表面组装元器件的贴装方式。

67. 网版（screen printing plate）

由网框、丝网和掩膜图形构成的丝印用印刷网版。

68. 微型塑料有引脚芯片载体（miniature plastic leader chip carrier）

近似塑料有引脚芯片载体，四边具有翼形短引脚，封装外壳四角带有保护引脚共面性和避免引脚变形的“角耳”，典型引脚间距为0.63mm，引脚数目为84、100、132、164、196、244条等。

同义词：塑封四边扁平封装器件（plastic quad flat pack，PQFP）

69. 温版印刷（stencil priner）

使用金属漏版或柔性金属漏版将印料印于承印物上的工艺过程。

70. 无引脚陶瓷芯片载体（leadless ceramic chip carrier, LCCC）

四边无引脚，有金属化焊端并采用陶瓷气密封装的表面组装集成电路。

71. 吸嘴（nozzle）

贴装头中利用负压产生的吸力来拾取表面组装元器件的重要零件。

72. 细间距（fine pitch）

不大于0.65mm的引脚间距。

73. 细间距器件（fine pitch devices, FPD）

引脚间距不大于0.65mm的表面组装器件，也指长×宽不大于1.6mm×0.8mm（尺寸编码为1680）的表面组装元件。

74. 小外形二极管（small outline diode, SOD）

采用小外形封装结构的表面组装二极管。

75. 小外形封装（small outline package, SOP）

小外形模压塑料封装，两侧具有翼形或J形短引脚的一种表面组装元器件封装形式。

76. 小外形集成电路（small outline integrated circuit, SOIC）

指外引脚数目不超过28条的小外形集成电路，一般有宽体和窄体两种封装形式，其中具有翼形短引脚者称为SOL器件，具有J形短引脚者称为SOJ器件。

77. 小外形晶体管（small outline transistor, SOT）

采用小外形封装结构的表面组装晶体管。

78. 芯片载体（chip carrier）

表面组装集成电路的一种基本封装形式，它是将集成电路芯片和内引脚封装于塑料或陶瓷壳体之内，向壳外四边引出相应的焊端或引脚，也泛指采用这种封装的表面组装集成电路。

79. 芯吸（wicking）

由于加热温度梯度过大和被加热对象不同，使表面组装元器件引脚先于PCB焊盘达焊料熔化温度并润湿，造成大部分焊料离开设计覆盖位置（引脚）而沿器件引脚上移现象。严重的可造成焊点焊料量不足，导致虚焊或脱焊，常见于气相再流焊接中。

同义词：上吸锡、灯芯现象

80. 旋转偏差（rotating deviation）

主要因贴装头在旋转方向上不能精确定位而造成的贴装偏差。

81. 翼形引脚（gull wing lead）

从表面组装元器件封装体向外伸出的形似鸥翅的引脚。

82. 引脚（lead）

从元器件封装体内向外引出的导线。在表面组装元器件中，指翼形引脚、J形引脚、I形引脚等外引脚的统称。

83. 引脚共面性（lead coplanarity）

指表面组装元器件引脚垂直高度偏差,即引脚的最高脚底与最低三条引脚的脚底形成的平面之间的垂直距离。其值一般不大于引脚厚度，对于细间距器件,其值不大于0.1。

84. 引脚间距（lead pitch）
表面组装元器件相邻引脚中心线之间的距离。

85. 印刷间隙（snap-off-distance）
印刷时，网版或柔性金属漏版的下表面与承印物上表面的静态距离。
同义词：回弹距离。

86. 有引脚陶瓷芯片载体（leaded ceramic chip carrier）
近似无引脚陶瓷芯片载体，它把引脚封装在陶瓷基体四边上，使整个器件的热循环性能增强。

87. 圆柱形表面组装元器件（metal electrode face component, cylindrical devices）
两端无引脚，有焊端的圆柱形表面组装元器件。

88. 再流焊接（reflow soldering）
通过重新熔化预先分配到PCB焊盘上的膏状软钎焊料，实现表面组装元器件焊端或引脚与PCB焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。

89. 在线检测（in-circuit inspection）
表面组装过程中，对PCB上个别的或几个组合在一起的元器件分别输入测试信号，并测量相应输出信号，以判别是否存在某种缺陷及所在位置的方法。

90. 针板转移式滴涂（pin tranasfer dispensing）
使用同PCB上的待印焊盘或点胶位置一一对应的针板施加焊膏或贴装胶的工艺方法。

91. 注射式滴涂（syringe dispensing）
使用手动或有动力源的注射针管，往PCB表面规定位置施加贴装胶或焊膏的工艺方法。

92. 自定位（self alignment）
贴装后偏离了目标位置的表面组装元器件，在焊膏融化过程中，当其全部焊端或引脚与相应的焊盘同时被润湿时，能在表面张力的作用下，自动地被拉回到近似目标位置的现象。

93. 组装密度（assembly density）
单位面积内的焊点数目。

## 附录2　SMT常用缩略词

ACA（Anisotropic Conductive Adhesive）　各向异性导电胶
ACAF（Anisotropic Conductive Adhesive Film）　各向异性导电胶膜

AI（Aluminium） 铝
ALIVH（All Inner Via Hole） 内部全通孔
AOI（Automatic Optical Inspection） 自动光学检测
ASIC（Application Specific Integrated Circuit） 专用集成电路
ATE（Automatic Test Equipment） 自动检测设备
Au（Gold） 金
BCB（Benaocycohutence.Benao Cyclo Butene） 苯并环丁烯
BeO（Beryllium Oxide） 氧化铍
BIST（Built-In Silf-Test（Function）） 内建自测功能
BIT（Bipolar Transistor） 双极型晶体管
BTAB（Bumped Tape Automated Butene） 凸点载带自动焊
BGA（Ball Grid Array） 球形栅格阵列，焊球阵列
BQFP（Quad Flat Package With Bumper） 带缓冲垫的四边引脚扁平封装
C4（Controlled Collapsed Chip Connection） 可控塌陷芯片连接
CAD（Computer Aided Design,Computer Assisted Design） 计算机辅助设计
CBGA（Ceramic Ball Grid Array） 陶瓷焊球阵列
CCGA（Ceramic Column Grid Array） 陶瓷焊柱阵列
CLCC（Ceramic Leaded Chip Carrier） 带引脚的陶瓷片式载体
CML（Current Mode Logic） 电流开关逻辑
CMOS（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor） 互补金属缺氧化物半导体
COB（Chip On Board） 板上芯片
COG（Chip On Glass） 玻璃板上芯片
CSP（Chip Siae Package, Chip Scale Package） 芯片尺寸封装
CTE（Coefficient of Thermal Expansion） 热膨胀系数
CVD（Chemical Vapor Deposition） 化学气象沉积
DCA（Direct Chip Attach） 芯片直接安装
DFP（Dual Flat Package） 双侧引脚扁平封装
DIP（Double In-line Package, Dual In-line Package） 双列直插式封装
DMS（Direct Metallization System） 直接金属化系统
DRAM（Dynamic Random Memory System） 动态随机存取存储器
DSO（Dual Small Outline） 双侧引脚小外形封装
DTCP（Dual Tape Carrier Package） 双载带封装
3D（Three-Dimension（Package）） 三维（封装），立体（封装）
2D（Two-Dimension（Package）） 二维（封装），平面（封装）

EB（Electronic Beam） 电子束
ECL（Emitter-Coupled Logic） 射级耦合逻辑
FC（Flip Chip Bonding） 倒装焊
FCB（Flip Chip On Board） 上倒装芯片
FCOB（Finite Chip On Board） 上倒装芯片
FEM（Finite Element Method） 有限元法
FP（Flip Chip） 扁平封装
FPBGA（Fine Pitch Ball Grid Array） 细间距器件BGA
FPPQFP（Fine Pitch Plastic Quad Flat Package） 细间距塑料QFP
GaAs（Gallium Arsenic） 砷化镓
GQFP（Guard-Ring Quad Flat Package） 带保护的QFP
HDI（High Density Interconnection） 高密度互连
HDMI（Hybrid Integratend Multiplayer Interconnection） 高密度多层互连
HIC（Hybrid Integrated Circuit） 混合集成电路
HTCC（High Temperature Co-Fired（Alumina）Ceramic） 高温共烧（氧化铝）陶瓷
HTS（High Temperature Storage） 高温储存（实验）
IC（Integrated Circuit） 集成电路
IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor） 绝缘栅双极晶体管
ILB（Inner-Lead Bond（ing）） 内引脚（键合）
I/O（Input/Output） 输入/输出
IVH（Inner Via Hole） 内部通孔
JLCC（J-Leaded Chip Carrier） J形引脚片式载体
KGD（Known Good Die） 优质芯片
LCC（Leadless Chip Carrier） 无引脚陶瓷片式载体
LCCP（Lead Chip Carrier Package） 有引脚片式载体封装
LCD（Liquid Crystal Display） 液晶显示器
LCVD（Laser Chemical Vapor Deposition） 激光化学气相淀积
LDI（Laser Direct Imageng） 激光直接成像
LSI（Land Grid Array） 焊区陈列
LOC（Lead Over Chip） 芯片上引脚键合
LQFP（Low Profile Quad Flat Package） 薄型四边引脚扁平封装
LTCC（Low Temperature Co-Fired Ceramic） 低温共烧陶瓷
MBGA（Metal Ball Grid Array） 金属基板焊球阵列

MCA（Multiple Channel Access） 多通道存取

MCM（Multi-Chip Module） 多芯片组件

MCM-C（Multi Chip Module With Ceramic Substrate） 陶瓷基板多芯片组件

MCM-D（Multi Chip Module With Deposited Thin Film Interconnect） 沉积薄膜互连基板多芯片组件

MCM-C/D(Multi Chip Module With Thin Film Deposited on Ceramic Substrate) 厚/薄膜混合集成多芯片组件

MCM-L（Multi Chip Module With Laminated Substrate） 叠层（有机）基板多芯片组件

MCP（Multi Chip Package） 多芯片组装

MEFB（Metal Electrode Face Bonding） 金属电极表面键合

MELF（Metal Electrodes Leadless Face Component） 金属电极无引脚表面组件

MEMS（Micro Electro Mechanical System） 微电子机械系统

MFP（Mini Flat Package） 微型扁平封装

MLC（Multi-Layer Ceramic Package） 多层陶瓷封装

MMIC（Monolithec Microwave Integrated Circuit） 微波单片集成电路

MOSFET（Metal-Oxide-Silicon Field-Effected Transistor） 金属氧化物半导体场效应晶体管

MPU（Micro Proccessor Unit） 微处理器

MSI（Medium Scale Integration） 中规模集成电路

OLB（Outer Lead Bonding） 外引脚焊接

PBGA（Plastic Ball Grid Array） 塑封焊球陈列

PC（Personal Computer） 个人计算机

PCB（Printed Circuit Board） 印制电路板

PFP（Plastic Flat Package） 塑料扁平封装

PGA（Pin Grid Array） 针栅陈列

PI（Polyamide） 聚酰亚胺

PIH（Plug-In Hole） 通孔插装

PLCC（Plastic Leaded Chip Carrier） 塑料有引脚片式载体

PTF（Polymer Thick Film） 聚合物厚膜

PQFP（Plastuc Quad Flat Package） 塑料引脚扁平封装

QFJ（Quad Flat J-leaded Package） 四边J形引脚扁平封装

QFP（Quad Flat Package） 四边引脚扁平封装

QIP（Quad In-line Package） 四边直插式封装
RAM（Random Access Memory） 随机存取存储器
SBB（Stud-Bump Bonding） 钉头凸点焊接
SBC（Solder-Ball Connection） 焊球连接
SCIM（Single Chip Integrated Module） 单芯片集成模块
SCM（Single Chip Module） 单芯片模块
SLIM（Single Level Integrated Module） 单级集成模块
SDIP（Shrinkage Dual In-line Package） 细间距双列直插式封装
SEM（Sweep Electron Microscope） 电子扫描显微镜
SIP（Single In-line Package） 单列直插封装
SIP（System In a Package） 系统级封装
SMC（Surface Mount Component） 表面组装元件
SMD（Surface Mount Device） 表面组装器件
SMP（Surface Mount Package） 表面组装技术
SMT（Surface Mount Technology） 表面组装技术
SOC（System On Chip） 系统级芯片
SOIC（Small Outline Integrated Circuit） 小外开封装集成电路
SOJ（Small Outline J-leaded Package） 小外形J形引脚封装
SOP（Small Outline Package） 小外形封装
SOP（System On a Package） 系统级封装
SOT（Small Outline Transistor） 小外形晶体管
SSI（Small Scale Integration） 小规模集成电路
SSIP（Shrink Single-In-line Package） 细间距单列直插式封装
SSOP（Shrink Small Outline Package） 细间距小外形封装
SPLCC（Self Timed Random Access Memory） 细间距塑料无引脚片式封装
STRAM（Self Timed Random Access Memory） 自定时随机存储器
TAB（Tape Automated Bonding） 载带自动焊
TBGA（Tape Ball Grid Array） 载带焊球陈列
TCM（Thermal Conduction Module） 热导器件
TCP（Tape Ball Grid Array） 带式载带封装、载带封装
THT（Through-Hole Technology） 通孔插装技术
TO（Transistor Outline） 晶体管外壳
TPQFP（Thin Plastic Quad Flat Package） 薄型塑料四边形引脚扁平封装
TSOP（Thin Small Outline Package） 薄型小外形封装

TTL（Transistor-Transistor Logic） 晶体管－晶体管逻辑
UBM（Metallization Under Bump） 凸点金属化
UFPD（Ultra Small Pitch Device） 超细间距器件
USOP（Ultra Small Pitch Device） 超小外形封装
USONF（Ultra Small Outline Package Non Fin） 无散热片的超小外形封装
UV（Ultra Violet） 紫外线
VHSIC（Very High Speed Integrated Circuit） 超高速集成电路
VLSI（Very large Scale Integrated Circuit） 超大规模集成电路
WB（Wire bonding） 引线键合
WLP（Wafer Level Package） 圆片级封装
WSI（Wafer Scale Integration） 圆片规模集成

# 参考文献

1 江锡全等编．表面安装技术原理与应用．北京：《计算机与信息处理标准化》编辑部,1991

2 廖汇芳主编．实用表面安装技术与元器件．北京：电子工业出版社，1993

3 龙绪明．现代实用电子SMT设计制造技术．成都：四川省电子学会SMT专委会，2002

4 吴兆华．周德俭．表面组装技术基础．北京：国防工业出版社，2002

5 宣大荣等编．表面组装技术．北京：电子工业出版社，1994

6 宣大荣主编．SMT生产现场使用手册．北京：北京电子学会SMT专委会，1998

7 宣大荣主编．SMT工程师使用手册．苏州：江苏省SMT专委会，2000

8 张文典．实用表面组装技术．北京：电子工业出版社，2002

9 张文典主编．SMT生产技术．南京：南京无线电厂工艺所，1993年

10 赵英主编．电子组件表面组装技术．北京：机械工业出版社，1997

11 周德俭．吴兆华．表面组装工艺技术．北京：国防工业出版社，2002

12 周德俭．吴兆华．李春泉．SMT组装系统．北京：国防工业出版社，2004

13 周德俭主编．SMT组装质量检测与控制．北京：国防工业出版社，2006

14 周瑞山主编．SMT工艺材料．成都：四川省电子学会SMT专委会，1999

15 Stephen W. Hinch著．陶辅文．江锡全译．表面安装技术手册．北京：兵器工业出版社,1992

16 Carmen Capillo.Surface Mount Technology: Materials, Processes and Equipment. New York: McGraw-Hill, 1990

17 Clyde F. Coombs, Jr. Printed Circuits Handbook（$5^{th}$）. New York: Chicago San Francisco Lisbon, 2001

18 Gerald Ginsberg. Surface Mount and Related Technologies. New York: Marcel Dekker, 1989

19 Howard H. Manko. Solders and Soldering: Materials, Design, Production, and Analysis for Reliable Bonding. New York: McGraw-Hill Professional, 2001

20 James K. Hollomon. Surface Mount Technology. Indianapolis: Howard W. Sams Company, 1989

21 Jennie S. Hwang. Implementing lead-free electronics: a manufacturing guide, New York: McGraw-Hill, 2004

22 Lee, Ning-Cheng. Reflow soldering processes and troubleshooting: SMT, BGA, CSP and flip chip technologies. Boston: Newnes, 2002
23 Ray P. Prasad. Surface Mount Technology Principles and Practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989
24 Stephen W. Hinch. Handbook of Surface Mount Technology.UK: Longman Scientific & Technical, 1988
25 Strauss, Rudolf. Surface Mount Technology. Oxford: Newnes, 1998
26 http://www.cims.tsinghua.edu.cn/index.html
27 http://www.swcims.com
28 http://www.gz.cnki.net
29 http://www.smt.net.cn
30 http://www.ee.cityu.edu.hk

# 电路模块表面组装技术

电子电路表面组装技术（SMT）在我国正处于高速发展和快速普及应用之中，相关专业技术人才的缺乏已对其发展产生了明显的制约作用。本书正是为了普及SMT而编写。

本书全面介绍SMT的基本知识，内容包括：SMT的基本概念、SMT组装工艺技术及其发展、表面组装元器件、PCB材料与制造、表面组装材料、表面组装涂敷技术与设备、贴片工艺与设备、焊接工艺与设备、SMT清洗工艺技术、SMT检测与返修技术等。

本书理论结合实际，易于自学，可作为SMT的专业技术培训教材，也可供从事SMT的工程技术人员自学和参考。

**吴兆华** 教授。1982年毕业于浙江大学精密机械工程专业，一直在桂林电子科技大学从事微电子制造与表面组装技术、机电一体化技术方面的教学和科研工作。主持完成省部级以上科研项目5项，参与完成10余项；主编出版《表面组装技术基础》等教材4册，发表论文50余篇；获广西优秀教师称号以及省部级科研奖励和优秀教材奖励6项。



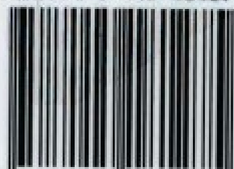
**周德俭** 博士，教授，博士生导师，中国电子学会会士。1982年本科毕业于浙江大学，1990年硕士毕业于西安电子科技大学，1998年博士毕业于浙江大学。先后在桂林电子科技大学、桂林工学院、广西工学院工作，担任这几所高校的教授，并兼任西安电子科技大学博导。长期从事微电子制造与表面组装技术、机电一体化技术、制造业信息化方面的教学、科研、研究生培养工作。主持完成省部级以上科研项目10余项，获省部级奖励7项；主编出版《表面组装工艺技术》等教材6册，发表论文100余篇；曾获机电部优秀科技青年、广西有突出贡献科技人员等称号。



本书相关信息请访问：图灵网站 http://www.turingbook.com
读者/作者热线：(010) 88593802
反馈/投稿/推荐信箱：contact@turingbook.com

分类建议 电子电气/电子设计

人民邮电出版社网址 www.ptpress.com.cn





ISBN 978-7-115-18127-5/TN
定价：39.00 元